

А. А. МЕНЯЙЛОВ

**ДИНАМИКА И МЕХАНИЗМ ИЗВЕРЖЕНИЙ КЛЮЧЕВСКОГО
ВУЛКАНА в 1937—1938 гг.**

ВСТУПЛЕНИЕ

Исследователи, изучавшие Ключевской вулкан, в особенности те, которые наблюдали его извержения, всегда говорили о мощи и величии проявления вулканических сил. Полной картины извержения этого колосса, вследствие эпизодичности наблюдений, до сих пор, однако, не имелось. Тем больший интерес должно представить систематическое



Фиг. 1. Извержение Ключевского вулкана в 1937 г. На переднем плане — с. Ключи.
Репродукция с картины худ. Е. Т. Васильева

описание деятельности вулкана на протяжении значительного отрезка времени, в течение которого группа работников Академии Наук имела возможность наблюдать его в активном состоянии.

Извержения Ключевского вулкана начались в апреле 1937 г. и продолжались два года. Нашей группой была прослежена деятельность вулкана с октября 1936 г. по октябрь 1938 г. Материалы, полученные за это время, дают нам возможность охарактеризовать почти весь цикл деятельности Ключевского вулкана: периоды, предшествующие извержению, самые извержения и последующий период относительного покоя.

После помещения предварительных данных в «Бюллетенях вулканологической станции на Камчатке» за 1938—1940 гг. (Меняйлов и др.) были собраны новые, дополнительные сведения о деятельности вулкана, и это позволило более полно представить картину извержения. В то время как в Бюллетенях описаны были только 25 извержений, сейчас, при учете всех данных и при выделении малых извержений и «вспышек» активности вулкана, количество их могло быть увеличено до 50-ти.

В настоящей работе отдельные периоды извержения описываются под определенными датами, как это чаще всего делается в литературе. При характеристике извержений мы старались полнее отразить наиболее важные моменты, иногда опуская некоторые второстепенные подробности, уже приведенные в предварительных отчетах, но не чуждаясь таких деталей по новым данным, которые дополняли наши представления о динамике извержений. В частности, начальный и первый периоды, кратко описанные в свое время (Меняйлов, 1938 б), здесь охарактеризованы более полно. То же относится и к третьему периоду.

Все извержения делятся нами на три основных периода: 1) период эффузий, 2) период эксплозий и 3) период редких заключительных эксплозий и побочных эффузий. Этим периодам предшествовали периоды относительно слабой деятельности вулкана.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ХРОНИКА ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ 1936—1938 гг.

До 4 ноября 1936 г. деятельность Ключевского вулкана выражалась в почти непрерывном выделении паров, временами насыщенных рыхлыми продуктами; перерывы в активности его наблюдались редко. Эта деятельность была продолжением той, которая наблюдалась группой В. И. Влодавца с августа 1935 по октябрь 1936 г. и была названа им «стадией эксплозионной деятельности малого действия с довольно частыми и короткими пироксизмами более сильного действия» (Влодавец, 1940, стр. 28).

1. ПЕРИОД ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ОЖИВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (4—29 ноября 1936 г.)

Первые признаки повышенной вулканической активности Ключевского вулкана стали отмечаться с 4 ноября 1936 г. в связи с тектоническими землетрясениями на Камчатке (Меняйлов, 1938а). Они выразились: в появлении, с началом землетрясения, освещенного пространства над кратером, вероятно вследствие открытия трещин и поднятия по ним магмы; в эпизодической деятельности кратера в период десятидневного землетрясения и в относительно сильном пепловом выбросе вслед за последними толчками землетрясения.

2. ПЕРИОД СПОКОЙНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ПАРОВ С РЕДКИМИ ЭКСПЛОЗИЯМИ (30 ноября 1936 г. — 17 февраля 1937 г.)

В течение этого периода вулкан выделял преимущественно пары и клубы дыма (фиг. 2), но иногда имели место и выбросы газовых и даже рыхлых продуктов на высоту, обычно, около 150—600 м.

В декабре и январе ощущался ряд толчков, являвшихся, вероятно, отзвуками ноябрьского тектонического землетрясения. Видимой связи их с вулканическими явлениями на Ключевском вулкане не обнаруживалось.

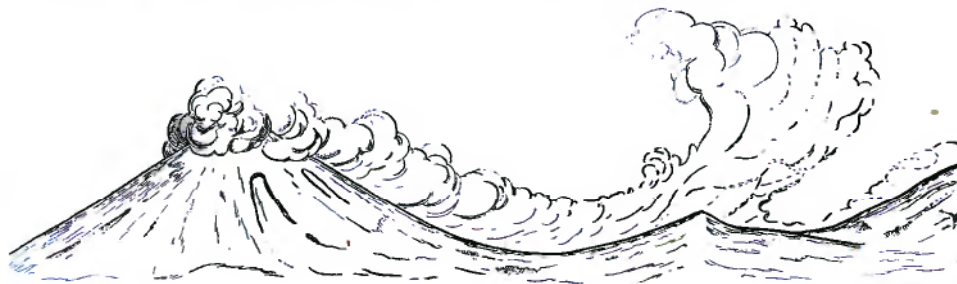


Фиг. 2. Ключевской вулкан в феврале 1937 г.
Фото Г. Санько

3. ПЕРИОД УСИЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ПЕРЕД ИЗВЕРЖЕНИЯМИ

(17 февраля — 2 апреля 1937 г.)

В этот период довольно часто наблюдались сильные выбросы паров, газов и пеплов на высоту до 1200—1500 м (фиг. 3). Усиление активности являлось как бы непосредственным предвестником извержений.



Фиг. 3. Характер распределения паров по склонам вулкана, 26 февраля 1937 г.

4. НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ИЗВЕРЖЕНИИ (3 апреля — 5 июня 1937 г.)

Для этой стадии характерно огненно-красное зарево над кратером, которое появилось вечером 3 апреля и в последующие ночи постепенно становилось все более интенсивным. Вначале оно было прерывистым, вспыхивающим через 1—1½ мин., затем стало непрерывным. С усилением освещения стали заметны «искры» — вылетающие из кратера раскаленные бомбы. Первая сильная эксплозия происходила 12—18 апреля.

В мае наметилось некоторое ослабление вулканической деятельности, — эксплозии и зарева стали более редким явлением. В это время было подмечено действие двух жерл: центрального и несколько меньшего по размеру восточного жерла. Первая эффузия произошла 10—11 мая. После излияния первой порции лавы в продолжение 15—20 дней вулканическая деятельность была значительно более слабой.

Эксплозивные извержения в начале апреля. В течение нескольких дней зарево над кратером было видно каждую ясную, безоблачную ночь — 3, 4, 5, 6, 8, 11 апреля. Зарево то вспыхивало, то угасало, причем вспышки следовали друг за другом через 10, 50 и 100 сек. Пепел после выбросов падал только на склоны вулкана. Активность вулкана продолжала все время увеличиваться.

Эксплозивное извержение 12—13 апреля. С раннего утра 12 апреля начались взрывы; до с. Ключи доносился грохот: с утра глухой и редкий, к вечеру громкий и частый. Наиболее частые взрывы следовали через 3—6 мин., наиболее редкие через 32—42 мин. 13-го с 6 до 10 час. в Ключах падал вулканический пепел, а в 11 ч. 37 м. со стороны вулкана донесся гул.

Эксплозивное извержение 14 апреля. В 1 ч. 25 м. был сильный выброс раскаленных бомб. Бомбы, широко взметнувшись над кратером и рассеявшись по конусу, образовали «шапку». Днем из вулкана выделялись белые клубы, самый конус был темносерого цвета. С 20 ч. 15 м. в продолжение 15 мин. без перерыва над кратером было видно зарево, которое затем продолжалось до 24 час. с некоторыми перерывами. Вечером (22 часа) и ночью 15-го (4 часа) происходили слабые землетрясения.

15 и 16 апреля вулкан был закрыт тучами. 17-го с утра кратер открылся и стали видны белые и серые выделения из его юго-западной части. 18-го в середине дня в Ключах были слышны раскаты. На побочном кратере Туйла, в 20 км от кратера, в это время раздавался сильный грохот и ощущалось сотрясение почвы.

Эксплозивное извержение 20—22 апреля. Еще вечером 19-го над кратером появилось зарево; 20-го в первой половине дня из кратера с большой быстротой скатывались вниз по склонам газообразные выделения белого цвета. Во второй половине дня кратер стал закрываться облаками. В 19 ч. 15 м. произошел выброс густых клубов темносерого цвета.

21 и 22 апреля вулкан сильно грохотал. 22-го в 15 ч. 15 м. три раза раздавался исключительно сильный грохот, сопровождавшийся раскатами «с барабанной дробью». Ночью с 21 на 22-е в с. Ключи чувствовались колебания почвы, а вечером над кратером было видно зарево.

23 и 24 апреля кратер выделял пары со средней интенсивностью. Вечером 24-го вулкан действовал сильно, но зарева над кратером при луне не было видно. 25-го в 18 ч. 08 м. послышался раскатистый грохот, через 27 мин. снова был слышен шум, но более глухой.

Эксплозивные извержения 26, 28—30 апреля и 1 мая. 26-го, после непрерывного выделения пара из всего кратера, с полудня наблюдалось появление сильных клубов, сопровождавшееся грохотом. 27-го вечером и ночью было видно зарево, только временами ослабевавшее. 28-го с 18 ч. 15 м. до 19 ч. 15 м. происходили выбросы пепла из центральной, а отчасти и из восточной части кратера (фиг. 4). Ежедневно с 26 по 30 апреля было слышно грохотание вулкана, особенно сильное 29-го после 18 час.; в с. Ключи при этом содрогалась почва. На склонах самого вулканического конуса раздавался непрерыв-

ный грохот; там было замечено, что особенно сильный грохот непосредственно предшествовал выбросам.

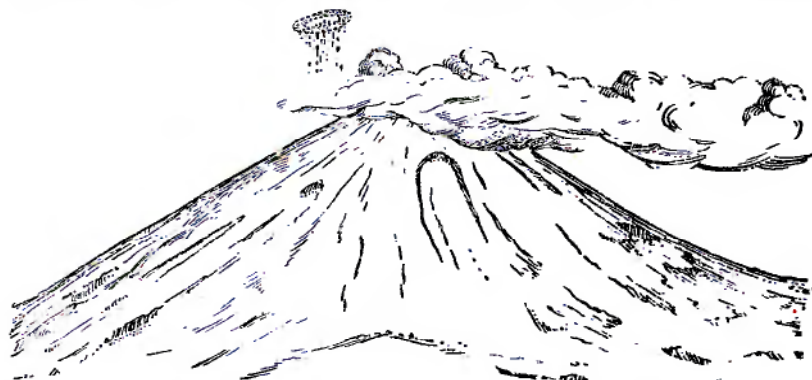
1 мая белые газообразные продукты подымались еще высоко, 2-го же выделение их почти прекратилось; за время с 3 по 5-е, при закрытой облаками вершине вулкана, грохот был слышен только 3-го, и то довольно слабый. Вечером и ночью 5-го было видно освеще-



Фиг. 4. Состояние вулкана 8 апреля 1937 г. с 18 ч. 15 м. до 19 ч. 15 м.

ние над кратером; иногда оно проявлялось в виде двух столбов, т. е. обусловлено было двумя жерлами.

Эксплозивно-эффузивное извержение 9—11 мая. 7-го с утра над кратером наблюдались высокие темносерые выбросы, сменившиеся позже выделением белого пара. 9-го рано утром стали следовать друг за другом серые выбросы. Конус утром в северо-восточной



Фиг. 5. Кольцевой выброс 9 мая в 19 ч. 50 м.

части имел черный цвет. Во второй половине дня через шапку белых облаков, закрывавших вершину, прорывались серые клубы вулканических выбросов. В 19 ч. 50 м. в полукилометре от кратера на восток замечено было газовое кольцо диаметром в 200 м. из которого сыпались песок и пепел (фиг. 5). 10-го вулкан выделял клубы пара. В 11 ч. 04 м. произошел черный выброс на высоту 1000—1500 м, а через 10 мин. выброс серого цвета. В 13 ч. 22 м. выброс был опять серым. За этот день отмечено много выбросов из кратера.

С 11 до 19-го вулкан был закрыт тучами, и только 17-го около 18 час. вулкан слегка открылся и удалось увидеть его деятельность, проявляющуюся в выделении белых паров.

Первая эффузия. 18 мая впервые был замечен на вершине конуса поток лавы общей массой до 10 000 м³. Судя по активной обстановке, характерной для последующих извержений, время излияния можно предположительно отнести к периоду, непосредственно предшествовавшему 18 мая.¹ В этом отношении показательна и зарисовка верхней части конуса 9 мая, свидетельствующая или об отнесении пепла западным ветром из центральной части кратера, или о локальном пеплообразовании в северо-восточной его части; последнее могло предшествовать излиянию лавы, подобно тому как это было при извержении 20-го июля, которое мы наблюдали при нашем подъеме к кратеру. Отчетливо форма лавового потока обрисовалась только 26 мая, так как 20—21-го вулкан слабо парил, а с 22 по 25-е был закрыт тучами и только вечером 25-го открылся, причем из кратера выделялись белые пары воды.

Эксплозии 26—27 и 29 мая. 26 и 29-го из центральной части кратера происходили выбросы белого или, чаще, серого газа. Скорость выброса над кратером 5 м/сек. Ночью с 26 на 27-е появилось слабое зарево над кратером, 27-го отмечены почти непрерывные выбросы белого цвета.

30 и 31 мая вулкан выделял пары всем кратером.

В июне наблюдаются уже более частые эффузии. В первые дни месяца вулкан слабо выделял пары или клубы белого, реже серого, дыма. 5 июня начинаются прерывистые выделения белого цвета из центральной части кратера в виде невысоких тонких струй, появлявшихся с промежутками от 2 мин. до 5 м. 20 с.

5. ПЕРИОД ПРЕОБЛАДАНИЯ ЭФФУЗИЙ НАД ЭКСПЛОЗИЯМИ

(6 июня — 12 сентября 1937 г.)

Этот период начинается с извержения 6 июня, которое в Бюллетене обозначено как первое. Оно было преимущественно взрывным, но закончилось небольшим излиянием лавы. В перечне всех извержений (табл. 1) видно, что в этот период они чаще всего носили существенно эффузивный характер, но обычно с взрывными элементами. В количественном отношении период характеризуется значительной высотой газобразных выбросов, до 3—7 км в первое время (9, 10 и 24 июня), а в последующем — примерно до 1½ км. Высота подброса бомб над кратером увеличивалась с 9 июня до 12 сентября от 100 до 400—800 м. Скорость движения газовых выбросов росла с 2 апреля по 26 сентября от 2½ до 5 м/сек., а скорость полета бомб с 6 апреля по 2 сентября — от 30 до 133 м/сек. Скорость взлета вулканических продуктов повышалась в зависимости от их характера в такой последовательности: газ и пар — пепел — песок — бомбы, т. е. чем напряженнее был очаг и чем выше был уровень магмы, тем более тяжелые и крупные частицы и с тем большей скоростью выбрасывались из кратера. Таким образом, большая начальная скорость и высота выбросов вулканических продуктов характеризуют большую напряженность очага или колонны и, следовательно, интенсивность извержения. В этот период сильные извержения происходят более часто, чем в начальный период извержений. Прорыв паразитических кратеров на западном склоне, происшедший в это время, и вместе с тем неослабевающая деятельность Главного кратера также характеризуют сильную напряженность очага.

¹ В Бюллетене № 4, на стр. 8, а затем и в Бюллетене № 5 на стр. 12 ошибочно сказано, что этот поток апрельский.

Таблица 1

Активные моменты в деятельности Ключевского вулкана в 1936—1938 гг.

№ по порядку	Дата		Промежутки между извержениями, дней	Характер деятельности	Возможная причина
	месяц	число			
	1936 г.			Период тектонического землетрясения и оживления вулканической активности	
1	Октября	31	5	Освещение над кратером	
2	Ноября	4	1	То же	
3		5	4	Пульсация паров	
4		9	2	Выбросы паров примерно через 2 мин.	
5		11	5	Выбросы пепловые (серого цвета) через 8—9 мин.	
6		16	1	Выбросы паров воды	
7		17	4	Высокие выбросы из восточного жерла, $h = 4000$ м	
8		21	2	Периодически повторяющиеся выбросы, $h = 350$ м	
9		23	2	Небольшие выбросы	
10		25	12	Пепел на конусе	
				Период спокойного выделения паров средними эксплозиями	
11	Декабря	12	9	Клубы дыма серого цвета с пеплом	
12		21	5	Интенсивные выделения пепла	
13		26	3	Периодические выбросы пепла	
14		29	1	Черные выбросы	
15		30	11	Газовые полосы на конусе (трещины?)	
	1937 г.				
16	Января	10	4	Черные выбросы через 2—3 мин., $h = 500$ м	
17		14	9	Серые, прерывистые выбросы	
18		23	4	Пепловые выбросы, $h = 600$ м	
19		27	10	Белые клубы	
20	Февраля	6—7	10	Темносерые периодические выбросы, $h = 200$ м	
				Период усиления активности перед извержением	
21		17	3	Белые выбросы, $h = 1600$ м	
22		20	3	То же	
23		23—24	14	Пепловые эксплозии, $h = 1200$ м	

Таблица 1 (продолжение)

№ по порядку	Дата		Промежутки между извержениями, дней	Характер деятельности	Возможная причина
	месяц	число			
24	Марта	10	5	Выбросы пара, $h=1200$ м Пепловые эксплозии, $h=1200$ м	15/III — перигей
25		15	18		
				Начальный период извержений	
26	Апреля	2	1	Пепловые эксплозии, $h=850$ м То же и парение, $h=520$ м	31/III — апогей
27		3—4	9		
28		12—14	8	Эксплозивное извержение То же	12/IV — перигей
29		20—22	4—10		
30	Мая	26, 28—30	15—18	Пепловые эксплозии Эксплозивно-эффузивное извержение	11/V — перигей
31		9—11			
32		26, 27, 29			
				Период преобладания эффузий над эксплозиями	
33	Июня	6	3	Эффузивно-эксплозивное извержение	Солнечные пятна — большая площадь 8/VI — перигей Солнечные пятна средней величины 21/VI — апогей
34		9—10	8	То же	
35		17—18	6	Эксплозивное извержение	
36		23—25	10	Эксплозивно-эффузивное извержение	6/VII — перигей
37	Июля	5—6	2+5	Эксплозивное извержение	
38		11—12		Эксплозия (бомбы и грохот) То же	
39		14—15			
40		19—20		7	Эксплозивно-эффузивное извержение (сильное)
41		26	8	Эффузивное извержение (прорыв кратера Радист на западном склоне)	
42	Августа	3—4	13	Эффузивное извержение	3/VIII — перигей 15/VIII — апогей Солнечные пятна — малая площадь Солнечные пятна — большая площадь 29/VIII — перигей
43		16	7	То же	
44		23—24	4	Эксплозивно-эффузивное извержение	
45		27—28	5	Эксплозивное	
				Кульминационный период	
46	Сентября	2—3	10	Эксплозивно-эффузивное извержение (сильнейшее)	Солнечные пятна — средняя площадь. 12/IX — апогей
47		12	10	Эффузивно-эксплозивное извержение	

Таблица 1 (продолжение)

№ по порядку	Дата		Промежутки между извержениями, дней	Характер деятельности	Возможная причина
	месяц	число			
48		22	10	Эксплозивное извержение небольшое	24/IX — перигей Атм. давл. миним.
49	Октября	2—3	10	Эксплозивно-эффузивное извержение (сильное)	То же
50		13—14	8	То же	Солнечные пятна — средняя площадь 10/X — апогей Атм. давл. максим.
Период преобладания эксплозий					
51		21—22	8	Эксплозивное извержение	Солнечные пятна — малая площадь 22/X — перигей Атм. давл. максим.
52	Октября	29	3	Эффузивно-эксплозивное извержение	
53	Ноября	2 и 3	4	Эксплозивное извержение	
54		6, 7, 8	7	Эффузивно-эксплозивное извержение	6/XI — апогей
55		14—15	9	То же	Солнечные пятна — большая площадь 19/XI — перигей Атм. давл. высокое
56		23—25	5	Эксплозивное извержение	
57		30	8	Эксплозивно-эффузивное извержение	Атм. давл. высокое
58	Декабря	5—8	6	То же	5, 8/XII — солнечные пятна малой площади. 4/XII — апогей
59		11—12	8	Эффузивное извержение	Атм. давл. высокое
60		19—20	11	Эффузивно-эксплозивное извержение	Солнечные пятна — средняя площадь
61		24—25, 27	—	Эксплозивные извержения	17/XII — перигей Атм. давл. высокое
62		30	10	То же	Солнечные пятна — средняя площадь 31/XII — апогей
63	1938 г. Января	9	10	Эксплозивное извержение (газово-бомбовое)	
64		18—19	5	Эксплозивное извержение (лавинное)	15/I — перигей
65		24	6	Эффузивно-эксплозивное извержение	
66		29—30	3	Эксплозивное извержение	27/I — апогей. Атм. давл. миним.
67	Февраля	1—2	4	То же	
68		5—6	1	Эксплозивно-эффузивное извержение	Солнечные пятна — большая площадь
Период заклю- чительных редких эксплозий и побочных эффузий					
69		7—8	7	Прорыв побочных кратеров на восточном склоне	

Таблица 1 (продолжение)

№ по порядку	Дата		Промежутки между извержениями, дней	Характер деятельности	Возможная причина
	месяц	число			
70	Февраля	7	8	Эксплозивное извержение То же	11/III — перигей
71		15—19	17		
72	Марта	6	24	"	
73		30	8		
74	Апреля	7	14	Эксплозии (малого радиуса распространения пепла)	
75		21	20		
				Период относительного покоя	
76	Мая	До 11		Непрерывное парение, $h = 100$ м В первой половине апреля Главный кратер был активнее, чем во второй В последнее время активность совсем снизилась	
77		С 12		Пульсации выбросов	
78	Июня	12—26		Начались высокие выделения (в особенности 18 июня, $h = 800—950$ м)	
79		С 26		Начались пульсации и перемежающиеся выделения из 2 жерл и фумарол, $h = 1200$ м	
80	Августа			Активность несколько снизилась, но 2 августа произошло одновременное действие всех жерл; 7—8-го вулканические землетрясения (7-го на Билюкае и 8-го в Ключах)	
81	Сентября			Газообразные выделения высотой до 1200 и большей массы, чем в августе	

Эффузивно-эксплозивное извержение 6 июня. Днем с перерывами наблюдались выделения газов и паров белого цвета, к вечеру сменившиеся серыми, а позднее и черными выделениями. Освещение над кратером стало заметным еще в сумерки, что свидетельствует о его интенсивности. С наступлением темноты зарево значительно усилилось. Периоды пульсации освещения составляли в среднем от 4 до 10 сек., и только некоторые из вспышек следовали через 18 и 25 сек. С 21 ч. 36 м. были видны выбросы бомб высотой в 200 м, следовавшие друг за другом через 3—12 сек. при скорости, равной 30 м/сек. Выбросы в это время были черные. Бомбы катились по склону на протяжении 700—800 м, а затем затухали. Потоки на склонах, издали имевшие вид красных «ленточек», которые обрисовывали путь выброшенных через

края кратера больших лавовых масс, катились по северо-западному склону до высоты 4000 м. Выбросы бомб прекратились в 2 ч. 30 м., хотя освещение кратера еще ясно было видно и позднее. С рассветом световые эффекты ослабели, а утром совершенно прекратились.

Утром и днем 7-го активность была слабой: вулкан выделял только пары бесформенной массой или в виде клубов. За весь день произошло всего три темносерых выброса (в 8 ч. 20 м., 12 ч. 05 м. и 16 час). Вечером и ночью над кратером было видно слабое освещение. 8 июля кратер находился в покое, лишь изредка (через 5—7 мин.) наблюдалось слабое выделение пара. Такое состояние бездействия, перемежающееся со слабым парением из центральной части кратера и из крупных фумарол, продолжалось весь день и вечер.

Эффузивно-эксплозивное извержение 9—10 июня. Еще днем стали наблюдаться темносерые выбросы из центральной части кратера. Столб газа, имевший пиниеобразную форму, все больше возрастал в высоту, которая равнялась в 10 ч. 55 м. 520 м, в 21 ч. 10 м. — 1650 м, в 22 ч. 30 м. — 3250 м и 10 июня в 1 ч. 35 м. — 8000 м. Бомбы выбрасывались в 22 ч. 45 м. на высоту 160 м, а 10-го в 1 ч. 20 м. — на 400 м. Скорость полета их достигала 60—80 м/сек. Промежутки между взрывами составляли 2—3 сек. Бомбы падали преимущественно на западный и в особенности на восточный склоны. Медленно скатываясь, они вытягивались в малые потоки. Действие фумарол было видно только при начале извержения. Грохотание вулкана было слышно только после полуночи. С этого же времени наметилась деятельность двух жерл, которая утром 10-го стала еще более отчетливой. Из центральной части кратера происходили непрерывные выделения белых паров, из восточного жерла через 5 мин. следовали темносерые выбросы (6 ч. 05 м., 6 ч. 10 м. и 6 ч. 15 м.). В 7 ч. 30 м., опять-таки из восточного жерла, произошел выброс клубка темносерого газа на высоту 260 м. С 7 ч. 30 м. до 11 час. видно было парение фумарол, остальные жерла бездействовали.

Утром по восточному склону из кратера произошло излияние лавы, которая образовала поток длиной около километра. Из него также шли клубы белого пара. 10-го в 11 час. центральная часть кратера дала черный выброс высотой в 320 м. Потом такие выбросы стали следовать через 10—15 мин., чередуясь с периодами бездействия. В 12 ч. 43 м. происходили одновременные выбросы из восточного жерла на 100 м высоты и из центрального на 160 м. В 12 ч. 45 м. был выброс черного дыма из центрального жерла, после чего в продолжение 1 часа кратер совершенно бездействовал. Выбросы возобновились после 14 час.: в 14 ч. 10 м. последовал белый выброс, в 14 ч. 50 м. — черный, в 22 ч. 30 м. и 40 м. — снова белый, высотой от 300 до 460 м. Последний выброс (22 ч. 40 м.) был снизу освещен в розовый цвет. В 23 часа произошел сильный выброс бомб, а через 10 мин. он повторился, но в более слабой форме. На западном склоне в это время показалась «светящаяся полоска» — вероятно, излилась лава, а через 10 мин. такая же «светящаяся полоска» появилась и на восточном склоне. В 23 ч. 25 м. был слабый выброс раскаленных продуктов, после чего до 2 час. ночи кратер бездействовал! 11-го в 5 ч. 05 м., 5 ч. 20 м. и 5 ч. 35 м. (с 2 до 5 час. наблюдения не производились) один за другим следовали выбросы черных кудрявых клубов. С 7 ч. 30 м. до 8 ч. 30 м. вулкан почти бездействовал, затем кратер скрылся за облаками.

15 июня вулкан был мало активен: он непрерывно парил, изредка давая выбросы серого цвета. У самого кратера были видны черные остывающие потоки лавы.

Эксплозивное извержение 17—18 июня. 17-го июня в 19 час. вершина открылась: вулкан всем кратером выделял пары. В 20 ч. 30 м. видно было сильное парение из центральной части и слабое из западной. На конусе виднелись остывающие потоки (фиг. 6). Вечером и ночью наблюдалось освещение из двух жерл и вылетающие бомбы. 18-го днем белые выделения достигали средней интенсивности. В 21 час, впервые за последние три дня, показались черные выбросы, а вместе с ними и зарево. В 22 ч. 15 м. опять наблюдалось освещение над двумя жерлами. В последующее время, далеко за полночь, происходили сильные, почти непрерывные выбросы бомб.

19-го большую часть времени вулкан был закрыт. Только в 18 ч. 50 м. кратер открылся и было видно выделение белых паров со средней интен-



Фиг. 6. Состояние вулкана 17 июня

сивностью. 20 июня в 1 ч. 10 м. облачная шапка прорвалась и некоторое время над кратером было видно освещение.

В продолжение всего следующего дня происходили редкие (через 15—20 мин.) выбросы белых паров высотой до 80 м. В остальное время кратер слабо парил из центрального жерла. Несколько раз 20-го (с 8 до 10 час.) и 21-го кратер бездействовал. В такие моменты (21-го) была видна работа северо-западных и восточных fumarol. В последние дни июня было замечено, что вулкан ослаблял действие к полуночи, а после 12 час. он обычно скрывался в облаках, и наши наблюдения прерывались. 22 и 23-го вершина также была закрыта облаками.

Эксплозивно-эффузивное извержение 23—25 июня. 23-го с вечера слышался грохот, продолжавшийся и ночью. 24-го в 18 ч. 15 м. сильный выброс паров прорвал покрывавшие вершину облака и достиг высоты 1200 м. В 21 ч. 20 м. из центральной части кратера последовал мощный выброс черного дыма, сопровождавшийся грохотом. Высота столба достигала 2000 м и продолжала непрерывно увеличиваться. В 22 ч. 19 м. происходил сильный выброс бомб. Через края кратера на восточный и западный склоны переливались потоки лавы. Газовый столб поднимался до высоты 8000 м. Из образовавшегося облака длиной в 85 км и шириной в 35 км (в районе с. Ключи) выпадал пепел. В ключах пепел падал с 24 час. и до 6 час.; по свидетельству многих жителей, здесь ощущался запах серы. Извержение сопровождалось грохотом и заревом над кратером. Время от времени вершина закрывалась облаками.

25-го утром пар интенсивно выделялся над поверхностью излившихся накануне потоков лавы, сосредоточившихся на южном и в особенности на восточном склоне. После извержения из кратера происходили непрерывные, но слабые выделения пара, а с 16 час. деятельность его совсем ослабела. В 18 час. активность вулкана повысилась, и было слышно, как он гудел. Позднее появились черные выбросы. В 23 ч. 30 м. выброс газа осветился в розовый цвет. 26 июня утром кратер был закрыт, но с 10 ч. 30 м. в отдельные моменты было видно, что он совершенно бездействовал.

27 и 28-го вершина была закрыта облаками. Когда она к 18 час. открылась, над центральной частью кратера долгое время стояла тонкая струя белых паров. В 21 ч. 10 м. был отмечен черный выброс.

29-го в центральной части кратера происходили отдельные выбросы газа, то белого, то черного цвета, высотой до 1800 м. Ночью изредка появлялось зарево и наблюдались редкие небольшие выбросы бомб на высоту 100 м. В полночь ощущалось слабое землетрясение. Такие же слабые толчки повторились 1 июля в 6 час.; в 6 ч. 15 м. 30 июня и 1—2 июля происходило слабое и непрерывное выделение паров из центральной части кратера. 2-го с 18 час. из восточного жерла наблюдались очень редкие, следующие друг за другом через 10—15 и до 30 мин. черные выбросы на высоту 130—260 м. В промежутке кратер весь бездействовал. Такой характер деятельности сохранялся всю ночь и в последующие дни.

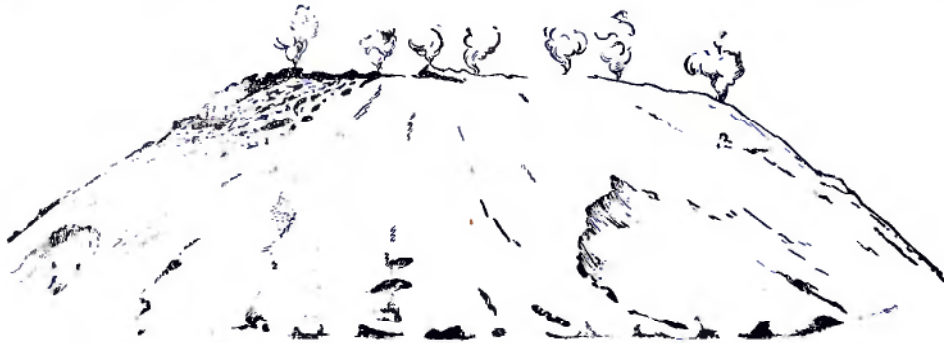
Эксплозивное извержение 5—6 июля. После слабой активности предшествующих дней, сменявшейся временами 2—3-часовыми периодами полного бездействия, в ночь с 4 на 5-е над центральным жерлом появилось слабое зарево; несколько позднее это жерло стало временами слабо парить, в то время как из восточного жерла происходили редкие черные выбросы. Поздно вечером 5-го активность вулкана резко повысилась. Из центральной части кратера непрерывно вылетали бомбы на высоту 160 м. Выбрасывались они в таком большом количестве, что на склонах, особенно на восточном, образовались лавины. Из восточного жерла происходили редкие черные выбросы, сменившиеся затем непрерывным выделением пара серого цвета. Значительную часть времени слышен был грохот. К утру 6 июля вершина закрылась и не открывалась до 11 июля. За это время только 6-го вулкан слабо гремел, да 8-го в 11 ч. 35 м. он один раз загрохотал, остальные же дни грохота не было слышно.

Деятельность кратера 10 июля. Деятельность вулкана часто была скрыта от наблюдателей тучами и облаками. Между тем, в это время на кратере могли происходить важные и интересные явления. В таких случаях работу вулкана можно было наблюдать только с больших высот вблизи кратера. Для характеристики такого случая ниже помещается описание деятельности кратера 10 июля по наблюдениям из домика на склоне вулкана (2800 м). Действие отдельных жерл и фумарол зафиксировано оттуда более точно, чем это возможно было со станции.

10-го в 8 ч. 45 м., когда кратер еще был закрыт тучами, раздался грохот. В 9 ч. 45 м. сопка открылась; из кратера подымались белые и голубые пары. В 9 ч. 26 и 27 м. отмечены были слабые выделения из кратера. В 9 ч. 32 м. показались черные выделения. В 9 ч. 35 м. одновременно происходили черные и, несколько западнее их, голубые выделения. В 9 ч. 38, 40 и 40½ м. наблюдались белые и голубые выделения; в 9 ч. 43 м. к ним примешивались черные выделения. В 9 ч. 44 м. кратер непрерывно парил, причем выделения из восточной части

и из западных фумарол были белыми, а из центральной — голубыми. В дальнейшем зарегистрированы: в 9 ч. 48 м. белые и голубые пары; через 2½ м. — более густые непрозрачные выделения; в 9 ч. 52½ м. — негустое, черное выделение газа, а за ним, через 10—15 сек., струйка голубого дыма; в 9 ч. 56½ м. — опять негустое черное выделение, а через 2½ м. — слабые белые и голубые выделения. Затем наступило затишье в деятельности кратера, и только из восточной части его 4 раза наблюдалось выделение пара.

Во время затишья в действии были только фумаролы. Из домика нам было видно всего семь фумарол, из них пять (№ 1, 2, 3, 4, 7)



Фиг. 7. Фумаролы на северо-западной кромке кратера 10 июля 1937 г. в 10 час.

работали непрерывно, а два (№ 5 и 6) периодически. Расположение фумарол северной половины кратера представлено на зарисовке фиг. 7. Наиболее активно проявляли себя две фумаролы: восточная № 1 и западная № 7.

В 10 ч. 03 м. из кратера поднялась небольшая голубая струйка пара, повторившаяся через 2 мин., а в 10 ч. 06 м. вылетел маленький клубок пара того же цвета. После этого снова наступило 11-минутное затишье — до 10 ч. 17 м., когда произошел черный выброс средней силы. В 10 ч. 18 м. сильно заработала крайняя восточная фумарола (№ 1); в 10 ч. 21 м. отмечены негустые серые выделения; в 10 ч. 22 м. над кратером взметнулась бомба; в 10 ч. 24 м. показалась разреженная голубая струйка пара; в 10 ч. 24½ м. взлетели сперва две, а затем еще 3 бомбы; в 10 ч. 34 м. последовали белые и голубые выделения средней силы. Снизу надвинулся туман и скрыл кратер от нашего взора. В 10 ч. 40 м. из кратера прорвался кольцевой выброс белого цвета с голубым оттенком диаметром в 80—100 м; кольцо село на восточный склон. Вероятно, оно было выброшено из восточного жерла, так как только ему присущи были выделения этого цвета.

В 10 ч. 42 м. последовал разреженный черный выброс, на фоне которого появился голубой дымок; в 10 ч. 44 м. — слабый белый и голубой выбросы; в 10 ч. 46 м. — одновременно выделения серого и голубого цвета; в 10 ч. 50 м. — из восточной части серый и белый выбросы; в 10 ч. 51½ м. — более сильный выброс серого цвета из центральной части; в 10 ч. 54 м. — несколько более слабые выделения серого, белого и голубого цветов. Опять кратер закрылся туманом, и в течение 2 мин. через дымку тумана не видно было никаких проявлений его активности.

После полудня был слышен грохот со стороны закрытого тучами кратера и чувствовалось колебание почвы. Первый грохот раздался в 12 ч. 21 м.; через несколько секунд еще два раза был слышен

глухой грохот. В 12 ч. 54 м. последовало три раската, а через $\frac{1}{2}$ мин. — еще два. Затем, в 12 ч. 55 м. и 12 ч. 57 м., раздался грохот, в 12 ч. 57 $\frac{1}{2}$ м. — непрерывный гул, в 13 ч. 16 м. — опять грохот, в 13 ч. 17 м. — грохот с продолжительным раскатом; в 13 ч. 21 м. — короткий грохот, в 14 ч. 18 м. — двойной грохот.

Грохот сопровождавшийся содроганием почвы, отмечен:

Часы. мин.

13 —	48	Грохот слабый и 3 содрогания почвы
	49	То же и 1 содрогание
	51	То же
14 —	40	Грохот средней силы и 8 содрогания почвы
	41	Грохот в виде слабых частых ударов
	43,46	То же
	48	В течение 20 сек. непрерывный грохот
	49	2 раската большой силы без сотрясения почвы
	50	3 раската большой силы, 1 сотрясение почвы
	51	То же, 7 раскатов
	52	" 4 раската
	53	5 раскатов большой силы, 2 сотрясения почвы
15 —	32	2 раската большой силы
	44	То же
16 —	24,27	Грохот
17 —	00	3 глухих раската
	29	1 сильный раскат

В 17 ч. 42 м. кратер открылся, причем видна была только работа фумарол № 1 и 2. В 17 ч. 46 $\frac{1}{2}$ м. последовал сильный темносерый выброс из центральной части кратера, а в 17 ч. 47 м. — несколько более светлый выброс, вслед за которым послышался грохот. В 17 ч. 50 $\frac{1}{2}$ м. произошел выброс песка (серый цвет выделений) и бомб, а вслед за ним — еще выброс, сильно насыщенный пеплом (черный цвет выделений). В 17 ч. 53 м. отмечено небольшое выделение пара светло-серого цвета; далее, в 17 ч. 55 $\frac{1}{2}$, 57 и 59 м. — еще три выделения того же характера. В 18 ч. 00 и 02 м. последовали более сильные темносерые выбросы, а в 18 ч. 07 м. — более сильные черные выделения. В это время фумаролы почти не действовали. В дальнейшем наблюдались: в 18 ч. 9 $\frac{1}{2}$ м. — выбросы; в 18 ч. 11 $\frac{1}{2}$ м. — выбросы: серый из центрального жерла и черный из восточного; вслед за последним раздался грохот. В 18 ч. 13, 13 $\frac{1}{2}$, 15 и 15 $\frac{1}{2}$ м. — взлеты бомб и затем появление серых газообразных выделений; в 18 ч. 17 м. — темносерый выброс без бомб и вслед за ним грохот. В это время надвинулся туман, и когда (в 18 ч. 21 м.) снова виден стал силуэт кратера, то последний совершенно бездействовал. В 18 ч. 28 м. туман рассеялся; кратер продолжал бездействовать. В 18 ч. 29 м. произошел темносерый выброс, сопровождавшийся грохотом; в 18 ч. 33 м. — черный выброс средней силы из восточной части жерла, а через $\frac{1}{2}$ мин. — из центрального жерла темносерый выброс с бомбами несколько меньшего размера, чем при выбросе из восточной части. Затем отмечены: в 18 ч. 34 $\frac{1}{2}$ м. — бомбы из центрального жерла и выброс из восточного; в 18 ч. 36 м. — серый выброс из восточного жерла, в 18 ч. 37 $\frac{1}{2}$ м. — бомба, а потом серый выброс из восточного жерла и бомбы без газообразных выделений из центрального; в 18 ч. 40 м. — темносерый выброс средней силы из восточного жерла.

В 18 ч. 41 м. кратер скрылся в тумане, а в 18 ч. 45 $\frac{1}{2}$ м. сквозь туман был виден темносерый разреженный выброс на высоту около 800 м. В 18 ч. 42 м. со стороны закрытого туманом кратера раздался грохот. В 18 ч. 53 м. кратер был уже открыт, и наблюдался темносерый выброс; такой же выброс средней силы произошел в 18 ч. 54 м.

В 18 ч. 57¹/₂ м. и в 19 час. из восточного жерла последовало два темносерых выброса: первый, более сильный, сопровождался грохотом; фумаролы бездействовали. В 19 ч. 6 и 6¹/₂ м. наблюдались темносерые выбросы средней силы из восточного жерла; фумаролы бездействовали; затем в 19 ч. 12 м. — из восточного кратера темносерый выброс средней силы, поднявшийся на 300 м; в 19 ч. 15 м. — слабый выброс серого цвета, а через 1 мин. — более сильный, чем предыдущий, темносерый выброс высотой в 110 м. В дальнейшем зарегистрированы выбросы из восточного жерла: в 19 ч. 17¹/₂ м. темносерый в 80 м высотой; в 19 ч. 20 м. — сильный черный в 800 м, сопровождавшийся грохотом; в 19 ч. 22 м. — темносерый выброс высотой в 300 м; в 19 ч. 24 м. — более слабый серый выброс высотой в 60 м.

Опять туман застал кратер, и только в 19 ч. 28 м. сквозь дымку виден был сильный выброс. В 19 ч. 40 м. последовал черный выброс на высоту 800 м, а через 5 мин. — серый на высоту 100 м. За ними следовали выбросы из восточного жерла: в 19 ч. 47 м. — черный на 300 м и в 19 ч. 48 м. — темносерый на 200 м; в 20 час. — темносерый выброс средней силы и снова из восточного жерла; в 20 ч. 03 м. — черный выброс и через 3 мин. — темносерый, несколько более слабый. Из центральной части кратера наблюдались: в 20 ч. 11¹/₂ м. темносерый выброс с бомбами и в 20 ч. 18 м. — темносерый выброс без бомб, а из восточного жерла в 20 ч. 22 м. — сильный черный выброс и в 20 ч. 26¹/₂ м. — более слабый темносерый. Наконец, в 20 ч. 37 м. зарегистрирован слабый серый выброс. На этом наблюдения были прерваны. В 22 часа над кратером появилось огненно-красное освещение с мелькающими яркими огненно-красными бомбами. Через полчаса зарево, сопровождавшееся вылетом бомб, стало более сильным. Освещение над кратером пульсировало, оно было почти непрерывным.

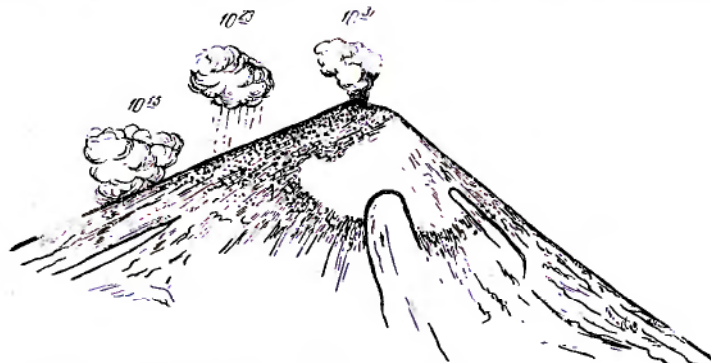
Подытоживая деятельность кратера вулкана за 10 июля, можно наметить три отрезка времени с разным характером вулканической активности: первый с 9 ч. 26 м. до 12 ч. 21 м., когда выбросы в среднем следовали друг за другом через 1—3 мин., второй — с 12 ч. 21 м. до 17 ч. 42 м. — при закрытом тучами кратере, когда взрывы следовали друг за другом через 1 мин.; третий — с 17 ч. 42 м. до 20 ч. 37 м.; действие почти такое же, как и в первый отрезок времени. В первую половину дня работала преимущественно центральная часть кратера, давая наиболее часто беспепловые выбросы, реже — выбросы, насыщенные пеплом (через 3—25 мин). Во вторую половину дня, с 12 ч. 21 м. до 17 ч. 42 м., нельзя было разделить деятельность отдельных жерл, но в общем взрывы при закрытом кратере происходили чаще. При этом нужно учесть еще и то, что не все взрывы сопровождался грохотом: при открытом кратере он всегда следовал за темносерыми выбросами из восточного и центрального жерл и реже, за черными, происходившими только из восточного жерла. Надо полагать поэтому, что при больших перерывах между грохотом длительностью в 12—34 мин. кратер не бездействовал, а выделял белые, беспепловые облака.

Третий отрезок времени, с 17 ч. 42 м до 20 ч. 37 м., отличается от первого значительно более частыми проявлениями деятельности восточного жерла и исключительно сильным насыщением пеплом центрального жерла. Если принимать во внимание все выбросы, то промежутки между ними оказываются почти такими же, как и в первую половину дня. После сильных выбросов из восточного жерла в 19 ч. 24 м. и 20 ч. 06 м. наступали длительные (в 12, 6, 9¹/₂ мин.) перерывы в деятельности всего кратера, после которых вступала в действие:

центральная часть кратера. Восточное жерло возобновляло свою активность через 15—17 и 23 мин., причем давало подряд несколько выбросов, иногда с теми же 1—3-минутными промежутками, иногда же со значительно более длительными перерывами.

Деятельность восточного жерла начиналась обычно с сильного выброса — высокого и черного, на смену которому приходили все более и более ослабевающие выбросы. Как общее правило, черные выбросы в обеих частях кратера отличались большей высотой, чем белые, но зато происходили реже.

Учитывая промежутки между выбросами из всех выводных отверстий, в том числе и фумарол, мы убеждаемся в их паразитическом



Фиг. 8. Разновременные пепловые выбросы и состояние конуса 15 июля 1937 г.

характере, т. е. зависимости всех их от одного общего канала и распределении между ними одной и той же массы газообразных выделений.

Эксплозии бомб и пепла 11—12 и 14—15 июля. 11-го пар непрерывно выделялся из восточного жерла; так же непрерывно, но перемежаясь с черными выбросами, он выделялся и из центральной части кратера. Фумаролы не работали. Около полуночи видно было слабое зарево над центральной частью, повторявшееся несколько раз. Бомбы вылетали на высоту 100 м. Как со склонов вулкана, так и со станции был слышен сильный грохот. Затем кратер закрылся. Грохот раздавался в продолжение всей ночи, с промежутками в 5—10 сек.

12-го вулкан действовал слабо — происходили редкие серые выбросы из центральной части.

13-го с утра кратер парил; но вскоре он скрылся, и до 15-го включительно об его активности свидетельствовал только грохот. Только 14-го некоторое время были видны черные клубы, пробивавшиеся через облачную шапку. 15-го выбросы происходили только из восточной части кратера. Выбросы были редкие (через 3, 8, 10, 14, 17 мин.), сильно насыщенные рыхлыми продуктами (фиг. 8), и сопровождалась грохотом. Вечером и ночью над кратером виднелось зарево. 16 и 17-го наблюдалось слабое выделение паров всем кратером; отдельно работа жерл из-за стелющихся паров не могла быть прослежена. 17 и 18-го западный край с фумаролами № 5, 6 и 7 бездействовал, а фумаролы № 1, 2, 3 и 4, так же как и лавовый поток, парили 17-го сильно, 18-го слабее. 18-го вулкан действовал очень слабо и с большими перерывами. Деятельность его заключалась в слабом парении с очень редкими выбросами газообразных продуктов белого и серого цвета из восточной части кратера. Вечером отмечено зарево над кратером и выбросы бомб.

Эксплозивно-эффузивное извержение 19—20 июля. 19-го кратер был закрыт, и грохот в Ключах слышен был только один раз. На склоне, на высоте 3500 м, он был значительно сильнее, притом почти непрерывным. Днем наблюдался пеплопад, с 13 час. он прекра-



Фиг. 9. Выбросы из центрального жерла, выделение паров из восточного жерла и лавовый поток 20 июля 1937 г.

тился и грохот стал утихать. В 19 час. грохота уже совершенно не было слышно. Ночью с 19 на 20 июля до 2 час. происходило излияние лавы. Лавовый поток излился на восточный склон. В с. Ключи виден был «огненно-полыхающий» поток на склоне, что произвело



Фиг. 10. Рыхлые продукты извержения 19—20 июля на склоне вулкана.

Фото П. П. Дьяконова.

сильное впечатление на население. В 2 часа поток был уже черным и резко выделялся на белом фоне снежного конуса (фиг. 9). На склоне всюду лежал песок, лапилли и шлаковые бомбы (фиг. 10). В это время наблюдалось выделение белых паров из восточной части конуса, а над центральной частью, на фоне зарева, были видны непрерывные выбросы бомб на высоту 200 м. В 2 ч. 30 м. стал образовываться пиниеобразный столб газа белого цвета. С 10 до 17 час. из-за низкой



Фиг. 11. Вид кратера Ключевского вулкана 20 июля 1937 г.

облачности кратера не было видно из с. Ключи. В 17 час. он открылся и стали видны непрерывные белые выделения из центральной части его, отгоняемые ветром в западном направлении. Кратер был весь застлан парами. В 19 ч. 30 м. над всем кратером на высоту 1300 м вздымался толстый столб белого пара. Вскоре после этого вершина закрылась.

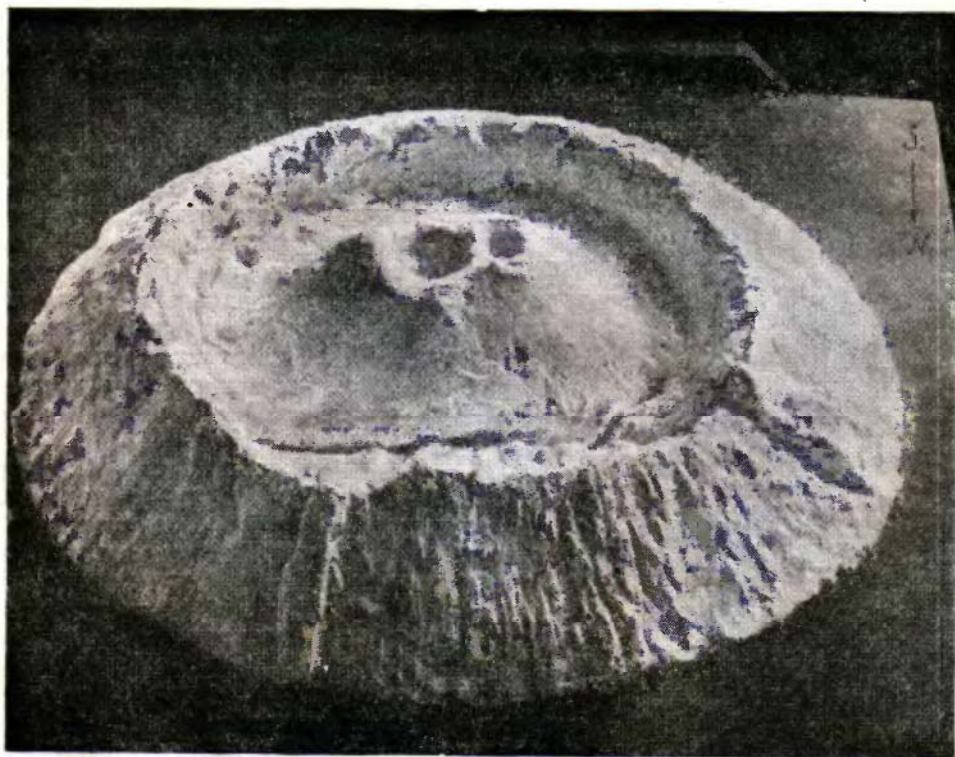
В промежутке с 16 ч. 40 м. до 18 ч. 40 м. автором с туристами Волченко, Дьяконовым и Малыховым велись наблюдения на самом кратере вулкана. По этим наблюдениям, из центрального жерла (фиг. 11) почти непрерывно выбрасывалась масса больших раскаленных бомб (фиг. 12). Крупные бомбы имели неправильную форму с рваными краями; объем некоторых равнялся 1—2 м³. Из соседнего, малого жерла происходили мощные выбросы пепла. Выбросы бомб из центрального жерла сопровождались грохотом. Перед выбросами их из соседнего жерла слышен был засасывающий звук. Трещина в кратере широтного направления, показанная на макете фиг. 13, парила особенно сильно в восточной части. Выделяла пар и изливавшаяся накануне этого дня лава. От трещины отходило 2 малых трещинных ответвления в юго-западном направлении. В 21 ч. 10 м. произошло вулканическое землетрясение, открылась трещина, и из нее были выброшены клубы газа и фонтаны раскаленных бомб. Сила землетрясения в Ключах оценивалась в 6 баллов, а на склонах была значительно выше. (Подробности об этом восхождении и о произведенных наблюдениях см. в «Бюллетене Вулканологической станции на Камчатке», № 4; Меняйлов, 1938б).

После этого извержения 21-го в 4 часа наблюдалось непрерывное слабое парение кратера, все же остальное время кратер был закрыт тучами. Только 24-го в 18 ч. 30 м. он открылся, причем были видны непрерывные выделения из восточной части кратера и серые выбросы из центральной части его. Ночью наблюдались зарево и выбросы бомб из восточной и центральной частей. 25-го из центральной части кратера днем происходили редкие, небольшие серые выбросы, выбросы, сменившиеся затем непрерывным выделением пара, а вечером — заревом и выбросами бомб.

Прорыв паразитических кратеров на западном склоне 26 июля. 26-го из центральной части кра-



Фиг. 12. Выброс из основного жерла 20 июля.



Фиг. 13. Трещины и жерла в кратере 20 июля.
Макет.

тера происходили выбросы газообразных продуктов черного, серого и белого цвета. В 19 ч. 50 м. прорывались паразитические кратеры, названные Радист и Камули. Прорыв сопровождался излиянием лавы и выделением мощных клубов водяных паров (фиг. 14), державшихся над склонами в продолжение 30 мин., вплоть до закрытия конуса облаками. После этого сопка оставалась скрытой до 31 июля.

Подведем некоторые итоги за этот особенно активный период. За 14 дней после извержения 5—6 июля до извержения 19—20-го



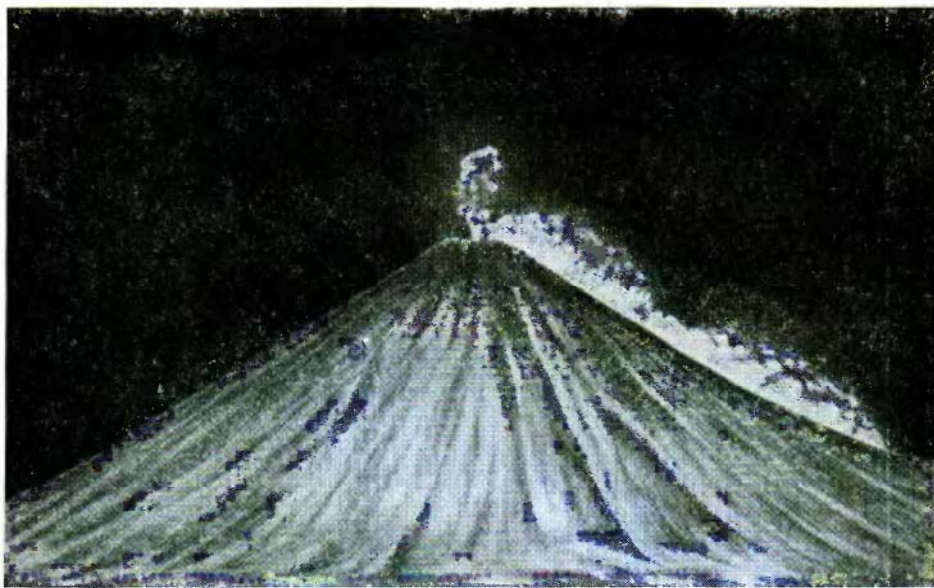
Фиг. 14. Прорыв западных паразитических кратеров 26 июля в 19 ч. 50 м.

состояние вулкана было в общем относительно спокойное. Деятельность его ограничивалась выделением паров, и только 11, 12 и 15-го наблюдались малые эксплозии. В работе отдельных жерл произошли существенные изменения. Восточное и центральное жерла давали эксплозии то одновременно (15 и 18-го), то попеременно (11 и 12-го). После излияния лавы из восточного жерла, с 20 июля по 25 августа, выбросов из последнего не происходило, а наблюдалось только время от времени парение. Землетрясение 20 июля открыло трещину, из которой в момент землетрясения произошел выброс бомб; лишь через 7 дней на западном ее продолжении прорвались паразитические кратеры, давшие излияние лавы. В последующие дни выбросы газов и явления взрывов на новых паразитических кратерах стали сильнее, чем в центральной части кратера.

Уже 31-го, когда открылась вершина, нашим взорам предоставилась деятельность нового жерла Камули. В 9 час. над ним наблюдались белые выбросы, уступающие по высоте серым выбросам центрального

жерла. Вскоре выделения сравнялись в высоте, а в 10 час. выбросы над Камули были уже выше, чем над центральным жерлом. Восточная часть кратера в этот день только парила. 1 августа над Камули появилось непрерывное зарево. 2-го выбросы из Камули были более частые, чем из центрального жерла. В конце дня наблюдались выбросы из Радиста. Вечером опять появилось непрерывное зарево над паразитическими кратерами, а также прерывистое, но иногда более сильное, над центральным жерлом.

Эффузивное извержение 3—4 августа. В полночь над главным жерлом наблюдалось периодическое яркое освещение, а над



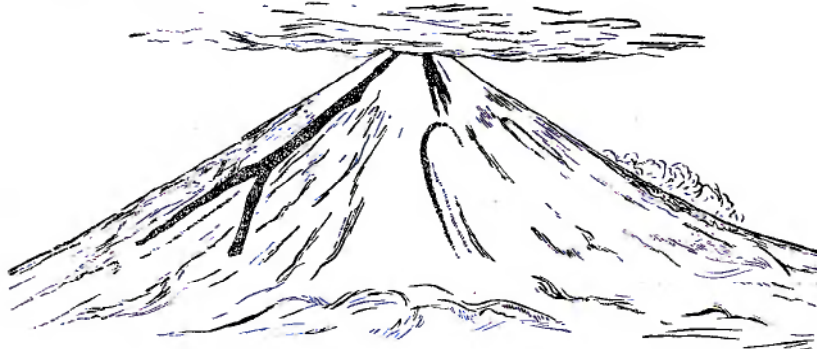
Фиг. 15. Выброс бомб и зарево над центральной частью кратера и освещение над западным склоном 4 августа в 1 час.

Камули постоянное, но слабое. Потом (с 1 часа до 1 ч. 25 м.) можно было видеть, как освещение над всем западным склоном почти до перевала (фиг. 15) сменилось освещением над одними только кратерами Камули и Радистом. Из центрального жерла в это время выбрасывались бомбы. В 1 ч. 35 м. зарево виднелось только над побочным кратером Радист. К утру 4-го (6 час.) выделения белых паров происходили из восточного жерла, а днем (17 час.) — непрерывно из центрального и восточного жерл. Вечером (21 час.) Главный кратер был слабо освещен. Извержение это было эффузивным, но излияние лав на западном склоне сопровождалось выбросами бомб из Главного кратера. Кратеры Главный, Камули, Радист и, возможно, вся западная трещина действовали попеременно.

В последующие дни отмечены: 6-го с 19 ч. 15 м. — высокие выделения паров из центра и западного склона, ночью сильное зарево; 7-го в 20 час. — непрерывные белые выделения высотой в 400 м; 8-го — отдельные редкие (через 10—20 мин.) серые выбросы на 200 м или выделения паров, принимавших форму столба высотой до 650 м; 9—10-го — почти те же проявления, что и раньше; 11-го — активность одного только Радиста, давшего огромные серые и черные выбросы;

12-го — черные выбросы из центрального жерла, зарево только над Камули; 13-го в 18 час. — тонкая белая струя газа из центра кратера.

Эффузивное извержение 16 августа. 14 и 15-го вулкан был закрыт. 16-го с утра, как только открылась вершина, на северо-восточном склоне был замечен новый лавовый поток длиной около 600 м. На восточно-северо-восточном склоне хорошо видны старый поток (фиг. 16) и, около паразитного кратера Радист, черная гряда.



Фиг. 16. Потоки лавы и деятельность Радиста 16 августа в 10—11 час.

Из центрального жерла и Радиста выделялись белые пары. На большую часть дня вершина закрылась. С 18 до 20 час. оба кратера почти совершенно бездействовали. Вечером и в полночь зарева не было видно. 17-го с 7 до 9 час. вулкан тоже находился почти в полном покое.

18-го небольшие выбросы чередовались с периодами бездействия вулкана. 19-го происходили малые выбросы из центральной части и совсем редкие из Радиста. Вечером и ночью над центральным жерлом видны были освещение и редкие выбросы бомб. 20 и 21-го большую часть времени вулкан оставался закрытым, но иногда через облака пробивались белые выделения, а ночью наблюдалось слабое и редкое освещение. 20-го вечером один раз был слышен грохот. 22-го в первую половину дня из центрального жерла происходили непрерывные выделения, а из Радиста редкие выбросы. Во вторую половину дня из центрального жерла начались черные выбросы, а ночью появилось слабое зарево.

Эксплозивно-эффузивное извержение 23—24 августа. С утра 23-го из центральной части кратера непрерывно выделялся пар, образовавший столб высотой в 1650 м. С 11 до 23 час. кратер был закрыт тучами и до с. Ключи доносились только раскаты грохота. Со склона вулкана с наступлением темноты видно было сильное зарево над центральным жерлом и над западной трещиной. Все время происходили сильные выбросы бомб и лапилли высотой в 1000 м. Грохот был почти непрерывный. В 1 ч. 30 м. (24-го) с последним громовым раскатом на восточный склон излилась лава и тремя огневыми языками длиной в 300 м каждый растекалась по склону. Из Главного кратера был выброшен огромный, освещенный снизу, черный столб дыма. Пепел в большом количестве осыпал склоны и летел в северном направлении. С 6 до 12 час. наблюдались мощные, высотой в 650 м, черные выбросы газообразных продуктов, насыщенных рыхлым материалом, потянувшиеся на север. В то время как из центральной части выделялись рыхлые продукты, из восточного жерла непрерывно подымались белые пары. Белый конус Ключевского вулкана за время

с 6 до 12 час. стал черным. Трава и деревья у подножия вулкана почти до с. Ключи покрылись тонким слоем пепла, которого выпало больше, чем 19—20 июля. 25 августа вершина была закрыта; 26-го ранним утром кратер совершенно бездействовал; около 7 час. последовали черные выбросы из восточного жерла, после чего до 31 августа включительно вершина была закрыта.

Эсплозивное извержение 27—28 августа. 27-го с 19 час. вулкан начал грохотать. Сначала грохот был редким, хотя и сильным, ночью же он стал почти непрерывным. 28-го утром грохот прекратился. Всю ночь с 27 на 28-е с дождем и сильным ветром несло пепел, основная масса которого уносилась на восток. Вся местность покрылась грязью; высохнув, она превратилась в пыль. Этой же ночью ощущалось сотрясение почвы. Судя по частично ювенильному характеру пепла, возможно, что происходили излияния лавы из кратера. 31-го утром с Шведуча было видно, что над краями кратера Ключевского вулкана возвышался внутренний насыпной конус, расчлененный на три части.

6. КУЛЬМИНАЦИОННЫЙ ПЕРИОД ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

На границе двух периодов или, точнее, в переходный этап между эффузивным и эксплозивным периодами происходили наиболее сильные извержения, носившие смешанный характер. По массе извергнутого материала, взрывным эффектам и в особенности по количеству выброшенных газов и паров воды этот отрезок времени характеризует наиболее интенсивную деятельность вулкана. Только извержение 22 сентября составляло исключение, — оно было слабым. Сильное извержение 2—3 сентября было последним, существенно эффузивным; последующие, тоже сильнейшие извержения 2, 3 и 13 октября принадлежали уже к числу существенно эксплозивных, а на смену им пришли затем извержения значительно более слабые. В течение этого периода извержения следовали друг за другом ровно через 10 дней.

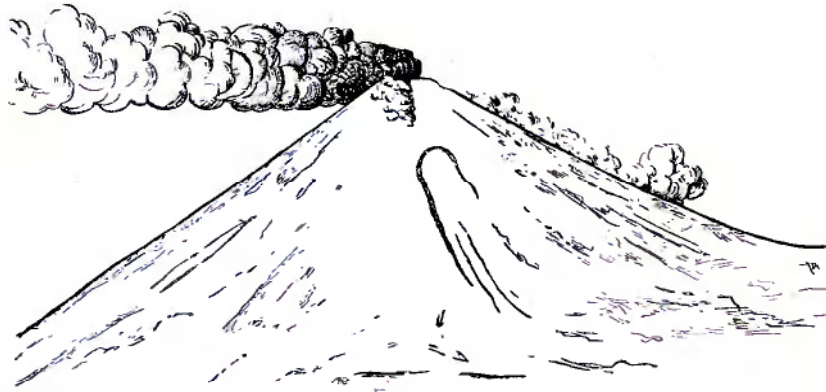
Эксплозивно-эффузивное извержение 2—3 сентября. 31-го августа и 1—2 сентября вулкан бездействовал или изредка слабо парил. С 18 ч. 30 м. наметился перелом в его поведении. Из центральной части кратера начались периодические выбросы черных клубов, а из паразитических кратеров — серых. Через 20 мин. над центральной частью уже стали видны раскаленные бомбы, подбрасываемые на высоту в 400 м. С 1 ч. 30 м. 3 сентября началось излияние лавы: она текла главным образом по восточному и западному склонам. Длина потоков была около 400 м. В 4 часа на северный склон излился поток длиной 1300 м. В 5 ч. 20 м. из Главного кратера на восток двигались большие клубы черного дыма в виде полосы, растянувшейся на 40 км. Одновременно наблюдались выделения черных клубов дыма из Радиста и клубы белого пара над всем западным склоном. В 9 час. по северному склону, по старому пути, снова потекла лава (фиг. 17). По тому же пути в этот день еще несколько раз текли новые порции лавы. С 13 час. активность вулкана резко пошла на убыль.

Во время извержения 2—3 сентября активна была вся трещина; в кратере из нее изливалась лава, а западная часть ее и особенно Радист сильно парили. На северном склоне виднелось нечто вроде небольшой трещинки (это наблюдение не вполне достоверно). По напряжению (средней скорости подъема бомб над кратером = 133 м/сек.) и количеству излившейся лавы данное извержение было наиболее сильным.

После грандиозного извержения вулкан в продолжение 4 дней почти совершенно бездействовал. 8 сентября в 15 час. кратер открылся и видны

были выделения из восточного жерла, образовавшие столб пара в 1500 м высотой.

Последующая деятельность вулкана подробно описана в Бюллетенях № 5 и 6. Поэтому ниже, в некоторых случаях, наряду с характери-



Фиг. 17. Излияние лавы на северный склон и клубы черного дыма из Радиста 3 сентября в 9 час.

стикой извержений, основанной на предыдущих данных, приводятся дополнительно полученные сведения.

Эффузивно-эксплозивное извержение 12 сентября (фиг. 18). Это извержение было преимущественно эксплозивным и только

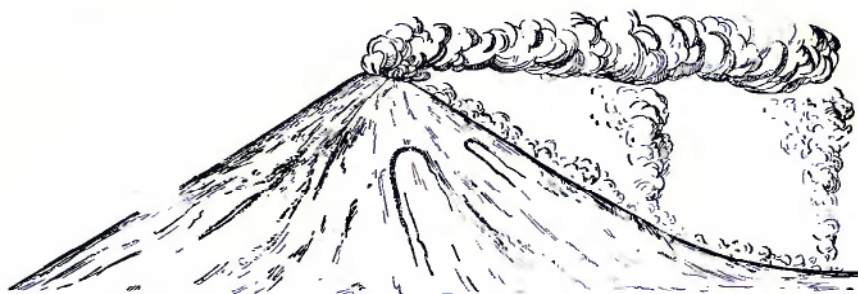


Фиг. 18. Мощное выделение паров воды 12 сентября.

отчасти эффузивным. Прежнее описание (Меняйлов и Набоко, 1939а) можно дополнить указанием, что в 19 ч. 30 м. неясно было видно течение лавы; до этого, утром, доносился грохот. После извержения вулкан в течение 7 или даже 9 дней проявлял слабую активность или совсем бездействовал.

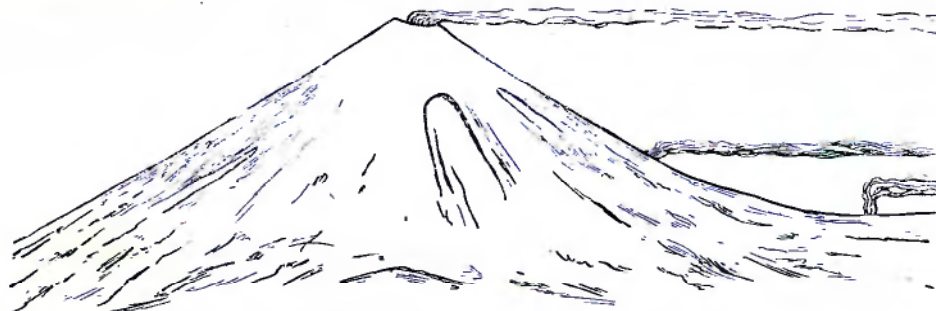
Эксплозии 22 сентября. После тектонического землетрясения, начиная с 8 час., вулкан грохотал в продолжение всего дня. В 15 час. наблюдались сильные выделения паров и пепла, а в 19 час., кроме пепловых, были видны и бомбовые выбросы. Позднее вечером над кратером появилось слабое зарево.

Эксплозивно-эффузивное извержение 2—3 октября и прорыв кратера Перевального. В эти дни выбросы пепла



Фиг. 19. Деятельность трех кратеров и пары на западном склоне 14 октября 1937 г.

происходили из Главного и паразитических кратеров, причем прорвался новый паразитический кратер — Перевальный. 4-го, после того как открылся вулкан, на склоне было обнаружено большое количество черных потоков.



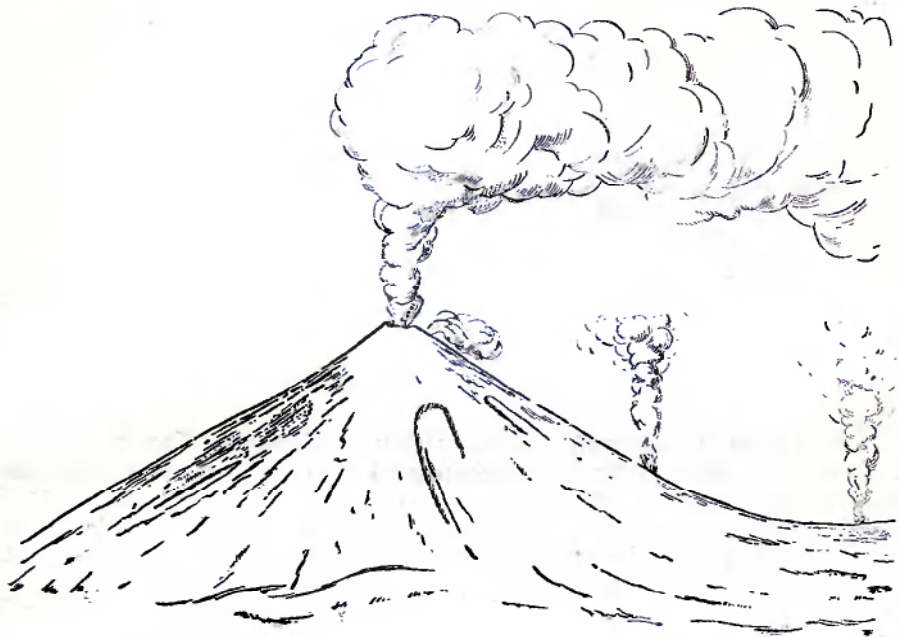
Фиг. 20. Выделение газов из трех кратеров 16 октября.

Эксплозивно-эффузивное извержение 13—14 октября. После слабой деятельности вулкана в течение 11 и 12 октября, 13-го произошло последнее, сильнейшее извержение. Оно носило преимущественно эксплозивный характер, так как потоки лавы образовались главным образом за счет выбросов бомб и кусков лав. Извержение было связано с западной трещиной (фиг. 19). Действовали преимущественно Главный кратер и недавно открытый Перевальный, затем деятельность распространилась на все три кратера (фиг. 20). Это было последнее, кульминационное извержение, после которого сила извержений пошла на убыль.

7. ПЕРИОД ПРЕОБЛАДАНИЯ ЭКСПЛОЗИИ

В этот период извержения характеризовались высокими, до 3—5 км, выделениями паров воды в виде пиниеобразных столбов. Они были ниже, чем в одно из кульминационных извержений — 12 сентября, но выше.

всех предыдущих, за исключением извержения 9 июня. Наоборот, высота выброса бомб все время уменьшалась — с 600 м 13 октября до 300 м 18 декабря. Промежутки между извержениями сокращались: в начале периода они составляли около 10 дней, позднее — около 3—6 дней. Зарева же над кратером стали появляться все реже и реже, а промежутки между ними становились все длиннее. Длительность отдельных извержений уменьшалась: если извержения (и отчасти зарева) в первом периоде заканчивались к утру, а в кульминационном — на следующий день утром и даже днем, то в рассматриваемом периоде они заканчивались раньше полуночи.



Фиг. 20а. Деятельность четырех жерл 22 октября в 8 час.

Такое состояние свидетельствует о том, что магма на поверхности лавовой колонны стала быстрее застывать и образовывать корочку, что могло быть следствием: 1) повысившейся вязкости магмы, 2) понизившейся конвекции магмы и 3) понижения уровня магмической колонны. Благодаря этому, повидимому, часто происходили эксплозии пепла и бомб и значительно реже излияния лавы.

Эксплозивное извержение 21—22 октября. 17-го вулкан действовал слабо. 18—21-го вершина была закрыта. Ночью с 21 на 22-е с 23 час. начался сильный грохот, который прекратился только в 3 часа; было видно зарево. В окрестностях вулкана падал пепел, покрывший в Ключах почву и строения слоем в 1 мм. Выделения из Главного кратера поднимались на высоту 3300 м, а из Радиста и Перевального на высоту 2000 м (фиг. 20а). Извержение было связано с широтной трещиной.

Эффузивно-эксплозивное извержение 29 октября. 28-го с вечера появилось непрерывное слабое освещение над центральным жерлом. 29-го утром происходили грандиозные выбросы клубов серого (и редко белого) дыма из Главного кратера на высоту 2500—3000 м и на 1000 м из паразитических кратеров. Лава изливалась на

западный склон. После этого извержения освещение над кратером не появлялось до 1 ноября.

Эксплозивное извержение 2—3 ноября. 1-го Главный кратер выделял белые пары на высоту до 400 м; побочные кратеры бездействовали. Вечером над центральным жерлом отдельными редкими вспышками появлялось зарево. 2-го с 4 ч. 30 м. вулкан грохотал, сначала слабо, затем сильно. Вечером, в моменты прояснений, освещения над кратером не было видно. 3-го вулкан снова грохотал, но слабо. На другой день ездившие на нартах из Ключей в восточном направлении заметили на снегу пепел. Для нарт образовалась «некать».



Фиг. 21. Деятельность жерл на западном склоне 12 ноября в 16 час.

4-го утром из кратера сквозь дымку пробивались белые выделения. В 14 ч. 45 м. выделения были серыми. В 16 ч. 45 м. белые пары поднимались над Главным кратером на 700 м, над Радистом на 600 м. 5-го белые пары поднимались из Главного кратера на 1300 м, выделения же из кратера Перевального были низкими, почти такими же как у фумарол западного склона. Вечером зарева не было.

Эффузивно-эксплозивное извержение 6—8 ноября. 6-го днем Главный кратер выделял клубы белого пара. Вечером в 22 ч. 30 м. был слышен сильный грохот. 7-го в 13 ч. 30 м. в Ключах опять был слышен грохот. Из Козыревска вечером наблюдалось сильное освещение над Главным кратером и течение лавы по западному склону.

8-го в 3 ч. 30 м. был слышен грохот. Вечером сквозь мглу виднелось яркокрасное освещение над Главным кратером, а несколько ниже его, над Камули, более тусклое, но большее по размерам зарево. Затем еще несколько раз появлялось светложелтое освещенное «пятно».

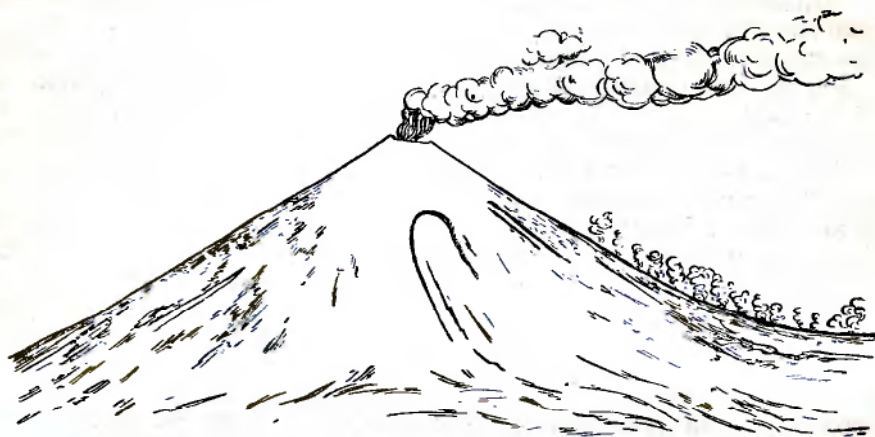
9, 10, 11 и 12-го Главный кратер непрерывно слабо парил (высота выделений 100—200 м); 12-го, в отличие от предыдущих дней, западные кратеры давали не белые, а серые выделения (фиг. 21). 13-го зарева не было.

Эффузивно-эксплозивное извержение 14—15 ноября. 14-го днем кратер выделял пары. После полудня газовый столб стал увеличиваться. В 14 ч. 30 м. было видно движение клубов пара вверх. Вечером мощный пиниеобразный столб достиг высоты в 5000 м. Зарево появлялось с большими перерывами, но с 22 час. оно стало непрерывным и мощным. Освещение, исходившее из Камули и Радиста, окрашивало в розовый цвет столб пара и нижнюю часть кроны до высоты 4500 м. По северному, западному и восточному склонам скатывались крупные бомбы, блоки и небольшие потоки лавы. В полночь над Главным кратером наблюдалось слабое освещение, а над Радистом — яркое зарево.

Вскоре конус скрылся за облаками. Вечером и ночью раздавался непрерывный грохот.

Эксплозивное извержение 23—25 ноября. В эти дни отмечены сильные зарева и выбросы бомб. В ночь с 23 на 24-е в окрестностях Ключей выпал пепел. Всю ночь вулкан сильно грохотал. 25-го вечером зарево было сперва интенсивным и сопровождалось вылетом крупных бомб, а к 19 час. стало пульсирующим. Вскоре вершина спряталась за облаками.

Эксплозивное (+эффузивное?) извержение 30 ноября. 29-го в первой половине дня Главный кратер парил и давал выбросы



Фиг. 22. Парение 3 декабря 1937 г.

клубов пара высотой в 650 м. С полудня выделения достигали высоты 2000 м; кратеры Радист и Перевальный парили. Затем вулкан скрылся за облаками. 30-го утром в Ключах на снегу был замечен пепел. По структуре пепла можно высказать предположение, что извержение было смешанного характера, подобно извержениям 23—24 августа и 24—25 июня. Днем, когда вершина временами открывалась, виднелись белые газообразные выделения. Вечером и ночью с 30 ноября на 1 декабря с южной стороны было видно сильное зарево. При северном ветре пепел падал в окрестностях вулкана и покрыл сплошным черным покровом площадь в 5500 км². Первого декабря временами еще был слышен слабый грохот; 2-го все кратеры слабо парили; вечером (в 19 час.) над Камули появилось слабое освещение, быстро затем исчезнувшее; 3, 4 и 5-го Главный кратер выделял белые клубы, а иногда давал серые и черные выбросы высотой до 1200—3500 м. На западном склоне видны были струйки пара (фиг. 22). Вечерами над Камули появлялось зарево, но относительно слабое, в особенности 4-го.

Эффузивно-эксплозивное извержение 5—6 декабря. Еще вечером 5-го, с 16 ч. 30 м., над кратером появилось сильное зарево, значительно усилившееся через 2 часа. В это время газообразный столб высотой в 2500 м освещался до высоты 2000 м. Черное облако длинной полосой уходило далеко на запад. Между 23—24 час. на западный склон излился поток лавы. Огненно-красная полоса, длиной около 1 км, была видна до рассвета. Вулкан сильно грохотал. Зарево после полуночи было слабое. Утром на снег падал пепел. 6-го днем из трещины происходили мощные выбросы, сопровождавшиеся грохотом. В моменты выбросов из трещины выделения из Главного кратера наполовину

уменьшились. Выпадение пепла продолжалось до 7-го. В более отдаленных от вулкана местах пепла выпало даже больше, чем вблизи его, очевидно в связи с тем, что пепел держался долгое время в атмосфере.

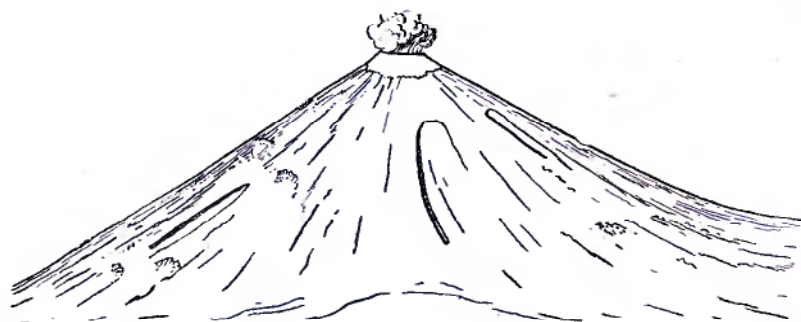
Эффузивное извержение 8 декабря. В 0 ч. 30 м. 8-го конус открылся и появилось зарево над вулканом. Над Главным кратером оно было редким и слабым, над трещиной же от Камули до Радиста более сильным, причем исходило оно из трех отверстий. Такой характер освещения сохранялся всю ночь. В 7 ч. 30 м. на северо-западный склон изливался лавовый поток. В 8 час. последовали большие выбросы из кратера Перевального. Из Главного кратера выбросы белого пара достигали высоты в 4000 м. В продолжение дня деятельность вулкана — как Главного кратера, так и паразитических — была мощной. Вечером наблюдалось сильное, зарево над западной частью кратера и вниз от него над западным склоном на расстоянии до 1.5 км. Верхняя часть этой полосы освещалась сильно, с одним ярким центром; нижняя же отличалась более слабым и ровным освещением. Ночью зарево стало ослабевать. 9-го утром на конусе резко выделялись темные потоки, над всем Главным кратером стоял неподвижный столб пара высотой в 2000—2300 м, Камули парил, а Радист и Перевальный бездействовали. С 10 ч. 10 м. последние два кратера возобновили свою деятельность. Вечером и ночью освещения не было.

Эти два извержения — 6, 7 и 8-го — разъединены промежутком в 34 часа, в продолжение которого вулкан был закрыт и работа его не могла быть прослежена. Между тем, особенно сильная деятельность кратеров на западном склоне свидетельствует скорее о длительном извержении всей трещины, продолжавшемся с 6 по 8-е включительно. Таким образом, извержение было трещинным, смешанного типа.

Эффузивное извержение 11—12 декабря. 10-го днем паразитические кратеры слабо парили, вечером зарева над ними не было. 11-го после полудня деятельность вулкана усилилась: над всеми кратерами выделявшиеся пары стали подниматься выше, а над Радистом наблюдались иногда пепловые, светлосерого цвета выбросы. С вечера появилось слабое зарево, которое стало затем усиливаться; ночью оно было очень эффективным. Освещение, сильное и ровное, шло преимущественно из трещины. Ночью изливалась лава. Высота газообразных выделений превышала 2500 м.

12-го из Главного кратера и Радиста выделялись тонкие столбы белого пара, ночью зарево было очень слабым. 13-го на вершине была видна снежная шапка. Главный кратер и Радист выделяли пары и давали редкие выбросы: первый — клубы белого цвета, второй — светлосерого. Ночью зарева совсем не было. 14 и 15-го вершина оставалась закрытой.

Эффузивно-эксплозивное извержение 19—20 декабря. 17-го кратеры понемногу парили. 18-го Главный кратер выделял уже клубы пара (фиг. 23), а с наступлением темноты (с 17 час.) появилось слабое освещение, постоянное над трещиной Камули и ниже (фиг. 24) и эпизодическое над Главным кратером. 19-го рано утром наблюдались сильные зарева и выделение паров и пепла высотой до 7000 м. В 4 часа сильное освещение (излияние лавы) сосредоточилось над западным и восточным склонами (фиг. 25). Из Главного кратера вылетали бомбы на 300 м высоты. В 7 ч. 30 м. Главный кратер дал под большим давлением пиниеобразный столб черного дыма высотой в 2000 м (фиг. 26). В 9 час. крону пинии прорвало, и столб газа поднялся на 7000 м, в то время как 2000-метровая крона долго оставалась нерассеянной (фиг. 27). В 12 час. сильно заработал Радист: он выбросил большую тучу черного дыма. Главный кратер тоже продолжал выделять в боль-



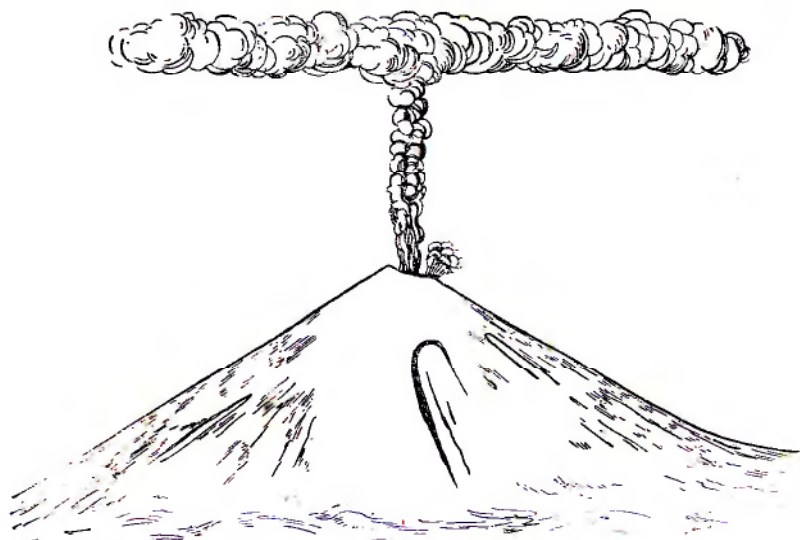
Фиг. 23. Слабое выделение клубов пара. Ниже кратера снег. Утро 18 декабря.



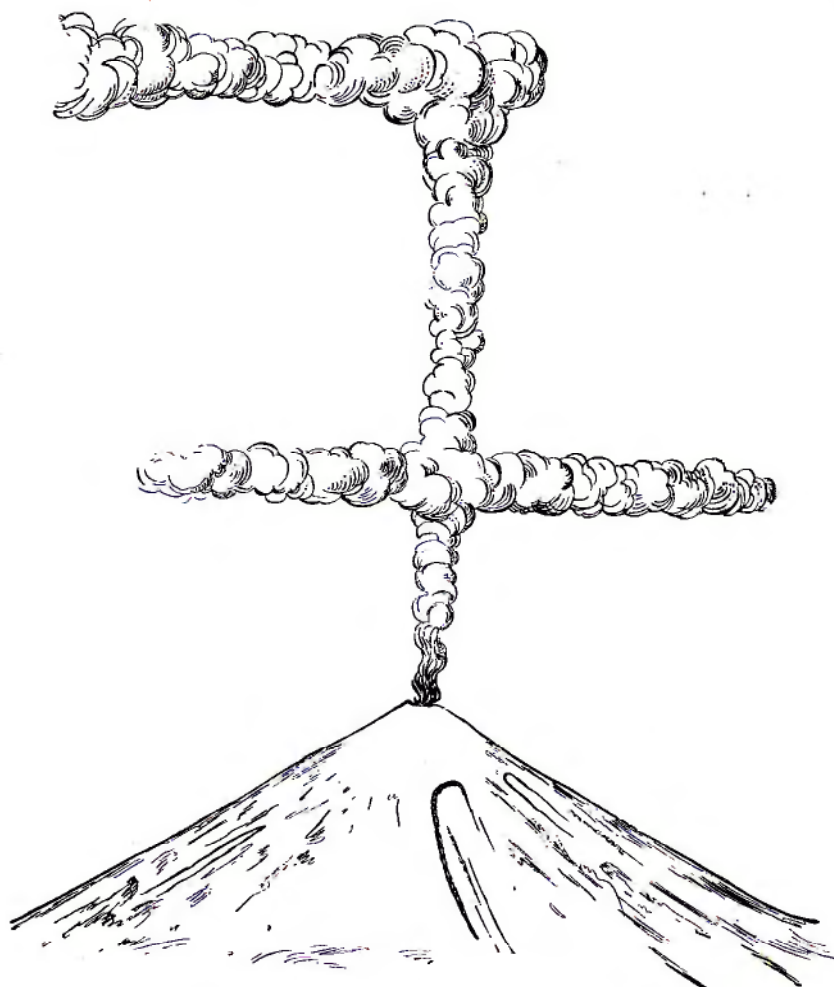
Фиг. 24. Состояние Ключевского вулкана 18 декабря в 17 час.



Фиг. 25. Состояние Ключевского вулкана 19 декабря в 4 часа.

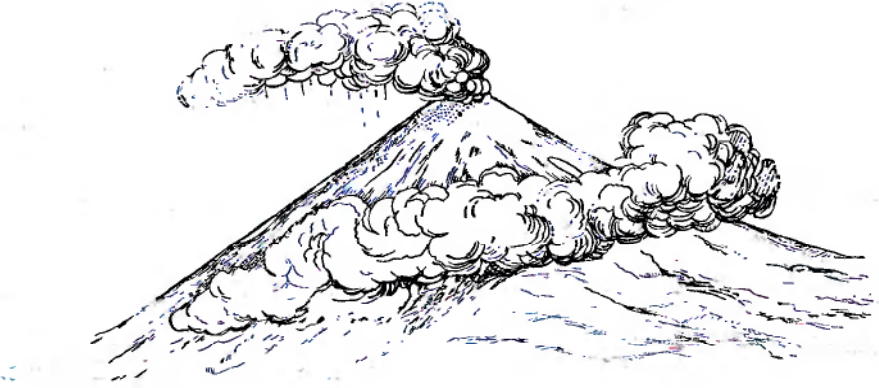


Фиг. 26. «Пиния» над Главным кратером 19 декабря в 7 час. 30 м.



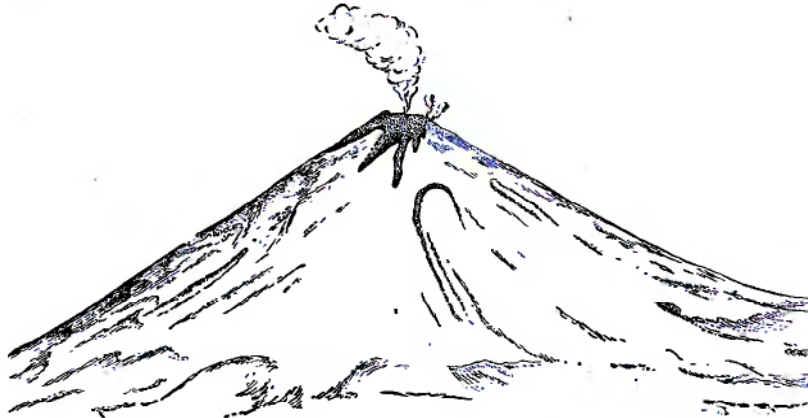
Фиг. 27. Двухъярусная «пиния» 19 декабря в 9 час.

шом количестве черный дым, относившийся ветром на восток (фиг. 28). В 16 час. Главный кратер продолжал выделять клубы дыма, деятельность же западной трещины ослабела. В 16 ч. 20 м. из Камули был сильный выброс, и одновременно прекратились выделения из Главного кратера; только через 3—4 мин. над ним вновь появились клубы черного



Фиг. 28. Деятельность Главного кратера и Ралиста. На конусе пепел (точки). 19 декабря в 12 час.

дыма. В 16 час. весь конус был черным от пепла, в окрестностях же пепел стал падать только ночью. 20-го в районе вулкана стояла черная гуча, и из нее все еще падал пепел. После извержения вулкан несколько дней действовал слабо, и только 26 и 27-го начались выбросы, сопровождавшиеся грохотом.



Фиг. 29. Две струи пара из Камули 26 декабря в 9 час.

20—25-го вулкан был закрыт. 26-го до 12 час. Главный кратер, Камули и Радист проявляли слабую активность, но после 12 час. первый заработал интенсивно. Своеобразно вел себя Камули (9 час.), дававший две тонкие струи в разных направлениях (фиг. 29). С 26 по 29-е время от времени раздавался грохот; 27-го он значительно усилился. 27—31-го вулкан был закрыт облаками. В это время, повидимому, произошли две следующие эксплозии пепла.

Эксплозия 24—25 декабря наблюдалась нами в юго-западной части вулкана, с р. Студеной. На фиг. 30 представлен разрез снежного покрова

на р. Студеной с прослойками пепла, в котором пепел эксплозии 24—25 декабря выделяется в виде очень тонкого прерывистого слоя.

Эксплозивное извержение 27 декабря может быть установлено на основании сильного грохота, продолжавшегося почти целые сутки.

Эксплозивное извержение 30 декабря. 30-го в Ключах два раза слышен был умеренный грохот. В западной и юго-западной частях вулкана наблюдался обильный пеплопад. В с. Козыревском падение пепла началось в 12 ч. 30 м.; с этого времени стало заметно темнеть, а в 14 час. настолько уже стемнело, что на улицах за несколько шагов ничего не было видно. Пепел выпал в окрестностях Козыревского сплошным толстым слоем.



Фиг. 30. Разрез снежного покрова с прослойками пепла на р. Студеной.

1 — мелкий и редкий пепел; 2 — обледенелая поверхность; 3 — крупный песок извержения 30 ноября 1937 г., мощностью до 1—2 мм; 4 — мелкий не сплошной пепел извержения 24—25 декабря 1937 г.; 5 — крупный пепел извержения 15 января 1938 г. (тонкий слой).

лишь вечером 10-го на короткое время было видно зарево над Камули.

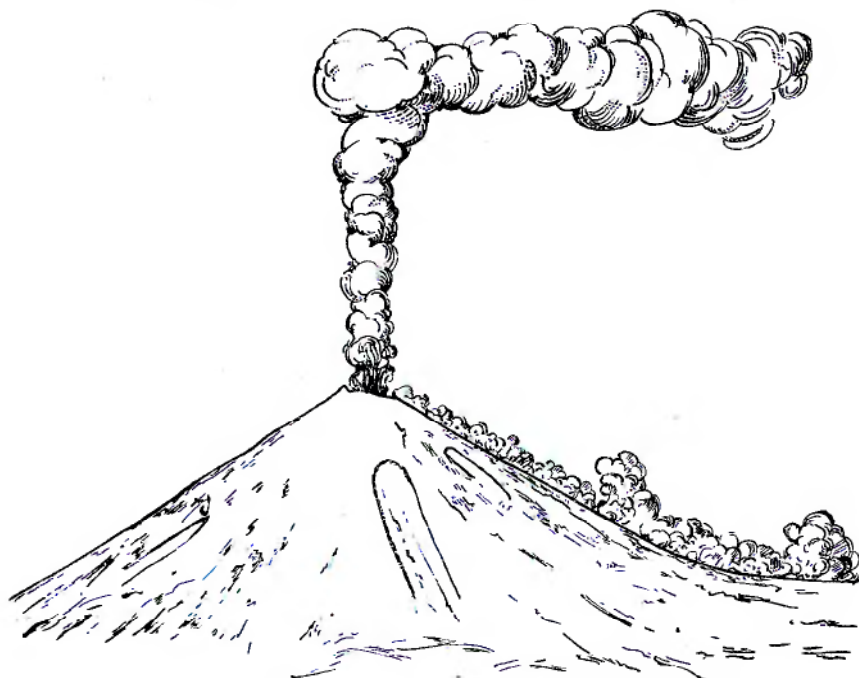
Эксплозивное извержение 18—19 января. 18-го с 17 ч. 15 м. до Ключей стал доноситься раскатистый грохот. Всю ночь вулкан грохотал, и настолько сильно, что сотрясались оконные стекла. В юго-западном районе вулкана, в долине р. Камчатки, этот грохот не был слышен. За ночь в окрестностях Ключей выпал вулканический пепел. 19 января в 9 час. вулкан еще слабо грохотал. В 18 час. стали видны зарево и выбросы бомб над кратером. Над Камули зарево вспыхивало периодически. Слышен был грохот. Тщательное наблюдение с 19 до 22 час. установило, что через каждые 15 мин. следовали выбросы громадных бомб, осыпавших все склоны конуса и в виде мелких потоков медленно сползавших по ним вниз. Наиболее сильный выброс был в 19 час., остальные уступали ему по силе. На западной трещине, на фонедвигающегося потока, выделялось несколько более ярко светящихся двигающихся «точек». В 22 часа вулкан скрылся за тучами.

20-го утром конус был черным; из новых вулканических образований (потоков?) выделялись белые пары. Главный кратер действовал слабо, — редко выбрасывались клубы дыма. Паразитические кратеры совершенно бездействовали. 21—24-го вулкан был закрыт облаками.

С 31 декабря по 9 января 1938 г. большую часть времени вулкан был закрыт, только 2 и 4 января он открывался. 2-го Главный кратер и Камули обильно выделяли клубы дыма, в то время как Перевальный действовал слабо. 4-го в 16 час. из Главного кратера поднимались клубы газа белого и серого цвета.

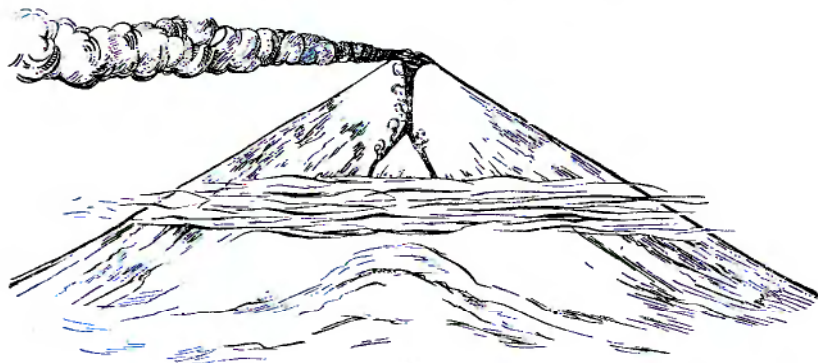
Эксплозивное извержение 9 янв. 1938 г. К 12 час. вершина открылась, и видно было, как из кратера высоко (3600 м) поднимались пары. Работали также Радист и Перевальный. Интенсивность деятельности их все время увеличивалась. Стала парить почти вся трещина, причем особенно интенсивные, почти непрерывные выделения наблюдались между Радистом и Перевальным (фиг. 31). В 15 час столб газа достигал высоты 5000 м. В сумерки (17 час.) появилось сильное зарево, а высота газообразных выделений возросла еще больше. В 18—19 час. освещение еще более усилилось, и начались сильные выбросы бомб. В 20 час. кратер закрылся облаками до 19 января;

Эффузивно-эксплозивное извержение 24 января. С 6 до 9 час. в северо-западном секторе вулкана, в долине р. Камчатки, был слышен сильный, раскатистый грохот. Над кратером и западной



Фиг. 31. Выделение паров из кратеров и на западном склоне 9 января 1938 г. в 13 час.

трещиной периодически вспыхивало зарево. По трещине происходило излияние лавы. Можно было различить, что поток лавы (или трещина) разветвлялся надвое (фиг. 32). Выбросы бомб следовали друг за другом почти непрерывно. Мощное вулканическое облако темного или желто-



Фиг. 32 Состояние западного склона 24 января в 8 час.

вато-серого цвета двигалось в восточном и северном направлениях. В 12 час. наблюдалась умеренная деятельность Камули и Радиста. 25-го из Главного кратера, Радиста и Перевального происходили выделения газообразных продуктов серого цвета, тоже средней интенсив-

ности. Вечером вулкан грохотал, но зарева не было видно. 27—31-го вулкан был закрыт. 27-го раздавался сильный грохот (эксплозия?).

Эксплозивное извержение 29—30 января. Ночью с 29 на 30-е января в северной части вулкана (в частности в Ключах) выпал пепел, отчего снег стал серым. 31-го в 17 ч. 35 м. вулкан открылся: над Главным кратером и Камули скопились серые выделения, протянувшиеся далеко на север; Радист выделял клубы дыма. Был слышен грохот. Ночью над вулканом стояло зарево.

Эксплозивное извержение 1—2 февраля. В ночь с 1-го на 2-е в юго-западной части вулкана (р. Студеная) выпал пепел. 2-го днем слабые выделения стлались по конусу. 3—5-го вулкан был закрыт.

Эксплозивно-эффузивное извержение 5—6 февраля. Извержение в ночь с 5 на 6-е началось с эксплозий, установленных по раскатам грохота и пеплу, покрывшему склоны конуса. С 6-го в 17 час. из Главного кратера шли клубы газа черного цвета средней интенсивности, а из Камули и Радиста — серые слабые выделения. На западном склоне в это время были струйки пара, двужущиеся вниз по склону, — это изливалась лава. У Камули замечено было увеличение массы лавовых потоков. В 18 ч. 10 м. на западный склон изливалась лава, а из Главного кратера выделялся черный дым. Вначале дым образовал невысокий столб, потом он вытянулся полосой далеко на северо-восток. Из этой дымовой полосы на восточный склон падал пепел. К 24 час освещения и даже газовых выделений не стало видно.

8. ПЕРИОД ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ РЕДКИХ ЭКСПЛОЗИЙ И ПОБОЧНЫХ

ЭФФУЗИИ (7 февраля — 21 апреля 1938 г.)

6—7 февраля на восточном склоне прорвались побочные кратеры. На расстоянии 5.5 км образовалось 13 жерл, на которых с этого времени и сосредоточилась основная сила вулкана. На Главном же кратере, за 2.5 месяца до 22 апреля произошло 5 эксплозивных извержений, следовавших друг за другом через 17, 24, 8 и 15 дней. Масса пепла этих извержений была уже значительно меньшей. Только при двух эксплозиях пепел донесся до Ключей, остальные принадлежали к эксплозиям с малым радиусом распространения пепла (в пределах склонов вулкана). Пеплы значительно отличаются от пеплов предыдущих извержений (Набоко) как по физическому состоянию (плотные, бурого цвета), так отчасти и по химическому составу (повышенное содержание воды).

До середины этого периода деятельности Ключевского вулкана выделения паров и газов были все еще высокие, около 3—4 км, затем они снизились до 1 км. Грохота почти совершенно не было.

Прорыв побочных кратеров 7 февраля. В ночь с 6 на 7-е прорвались побочные кратеры на восточном склоне. Прорыв сопровождался небольшим землетрясением, ощущавшимся только вблизи места прорыва. Образовались крупные трещины почти широтного направления и перпендикулярные им, более мелкие. Жители с. Ключей утверждают, что в первый момент (7-го в 2 часа) прорвался только самый нижний кратер, Билукай, и что лишь 8-го в 0 ч. 30 м. были замечены сильные проявления, а может быть и прорыв, верхней группы воронок взрыва близ Козея (Меняйлов и Набоко, 1939б).

Эксплозивное извержение 7 февраля. В 4—5 час., по утверждению В. В. Викторова, в момент рассеяния у вершины Ключ-

чевского вулкана облаков, над Главным кратером наблюдалось зарево и выбросы бомб. Утром в Ключах на снегу лежал пепел; он мог, однако, быть выброшен еще до открытия новых кратеров на восточном склоне.

Эксплозивное извержение 15—19 февраля. 15-го днем Главный кратер еле-еле курился, на западном склоне видны были струйки пара, а над Радистом — серые выбросы. Вечером, в 23 часа, отмечены были слабые белые выделения из Главного кратера и серые — из Радиста. Ночью с 15 на 16-е в южной части вулкана, в долине р. Студеной, выпал пепел. 17-го из Главного кратера высоко поднимались выделения паров и направлялись на север. Полоса дыма у Ключей была шириной в 10—15 км. 18-го Главный кратер слабо парил, паразитические кратеры не были видны. 19-го из Главного кратера происходили сильные пепловые выделения черного цвета; длинной полосой они протягивались в северном направлении выше полосы газа, выделявшегося из Билокай и вытянувшегося к западу. Таким образом, за 4 суток из Главного кратера три раза происходили пепловые выбросы.

Эксплозивное извержение 6 марта. С 11 до 15 час. в Ключах был пеплопад. С 20 час. началось резкое грохотание вулкана. 7-го утром Радист и Главный кратер слабо выделяли белые пары. После полудня интенсивность выделений из Главного кратера стала возрастать: в 13 час. пары поднимались на 1600 м, в 14 час. — на 4000 м.

С 8 по 30-е действовали Главный кратер, Радист и Перевальный. Парение сменялось выбросами с рыхлыми вулканическими продуктами, высота которых достигала 3500 м (подробности см. Меняйлов и Набоко, 1939б). Для Главного кратера 24 февраля можно отметить редкие пепловые эксплозии, а 25-го — слабое выделение газов и временами (16 час.) даже полное бездействие.

Эксплозивное извержение 30 марта. В 13 час. сквозь тучи был виден силуэт вулкана, со средней интенсивностью выделявшего из Главного кратера белые пары. Кратеры на западном склоне в это время бездействовали. Вскоре со стороны Главного кратера послышался грохот — впервые после прорыва кратеров на восточном склоне. Пепел до Ключей не долетал.

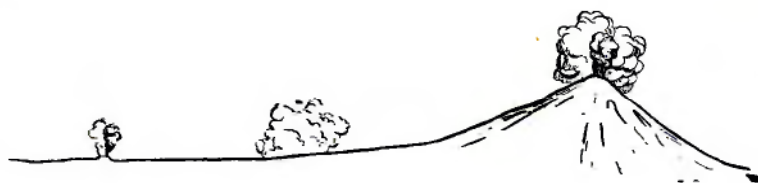
Можно отметить усиление активности Главного кратера 2—3 апреля. 2-го Главный кратер выделял серые клубы дыма, 3-го с утра он парил, западные же кратеры бездействовали. С 14 час. Главный кратер стал давать более сильные клубы серого цвета, а Радист — белые пары. Наблюдалось, что вслед за выбросом черного клуба из Главного кратера активность побочных кратеров восточного склона повышалась.

Эксплозивное извержение 7 апреля. С 12 час. в Ключах начал падать пепел, очень тонким слоем покрывший снег. Затем активность вулкана понижается; только 11, 18 и 21-го наблюдалось некоторое усиление ее.

Эксплозии 21 апреля. Этим эксплозиям, отличавшимся малым радиусом распространения пепла, предшествовало, как и раньше, ослабление деятельности вулкана. 19-го Главный кратер слабо парил в восточном направлении, и над всем восточным склоном были видны белые пары. 20-го конус был закрыт, а 21-го, когда он открылся, удалось сделать следующие наблюдения: в 9 ч. 30 м. Главный и западные кратеры бездействовали, а над восточным кратером Билокай виднелись небольшие белые выделения. В 14 час. сквозь «белую шапку» на Главном кратере прорвались большие клубы черного дыма; количе-

ство их все более увеличивалось; ветром они отгонялись в восточном направлении. В 14 ч. 55 м., при той же повышенной деятельности Главного кратера, над Билукаем появилось 2 столба дыма — один черный, другой белый (фиг. 33). Козей работал в это время тоже усиленно, но выделял только белые газы. Западные кратеры себя не проявляли. В 19 час. черных клубов дыма стало несколько меньше, шапка же сохранялась все это время.

23-го в 12 час. Главный и восточные кратеры действовали совсем слабо, а западные совершенно бездействовали. Затем восстановилась обычная для этого времени деятельность вулкана.



Фиг. 33. Действие кратеров Билукая, Козей и Главного 21 апреля 1938 г.

9. ПЕРИОД ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОКОЯ

1) Непрерывное парение. После вспышки активности 21 апреля наступило время, когда Главный кратер только непрерывно выделял пары или клубы дыма. Деятельность его стала еще слабее, чем до 21-го. Активность западных кратеров настолько ослабела, что при наблюдениях из Ключей часто совсем не удавалось ее обнаружить. Пепловые выбросы прекратились. Высота главных выделений не превышала 100—200 м.

Действие побочных кратеров на восточном склоне после 21-го усилилось и совершенно локализовалось, в то время как в предшествующий период оживления деятельности Главного кратера — с 19 марта до 21 апреля — побочные кратеры значительно понизили свою активность.

2) Пульсация выбросов. С 12 мая на фоне общего непрерывного парения время от времени наблюдались сравнительно высокие, до 1000—1200 м, выбросы и пульсации белых паров; из побочных же кратеров на восточном склоне происходили извержения, а на западном — редкие выбросы (2 августа 1938 г. — см. ниже). Такое состояние наблюдалось нами до октября 1938 г. (Меняйлов и Набоко, 1939в).

Чтобы дать представление о пульсациях вулкана периода относительного покоя, приведем одно из подробнейших наблюдений за 15 июля.

Деятельность 15 июля. Утром (9 час.) вулкан всем кратером выделял клубы пара. В продолжение дня он затем несколько раз закрывался облаками. В 12 час. отмечены клубы пара высотой 800 м, в 15 час. — слабое парение на восточной части кратера. В 20 ч. 35 м. облачность вокруг конуса совершенно рассеялась. Можно было наблюдать, что выбросы паров воды происходили из нескольких отверстий: западного жерла или фумаролы, восточного жерла и из трех фумарол на восточном склоне. Пары подымались всего лишь на высоту 250 м.

Засечки времени пульсации паров из перечисленных отверстий приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Время выделения паров из жерл (1 — западного, 2 — восточного)
и фумарол (№ 3, 4, 5) Ключевского вулкана 15 июля 1938 г.

№ выводного отверстия	Время выброса			Промежуток времени после предыдущего выброса, сек.	№ выводного отверстия	Время выброса			Промежуток времени после предыдущего выброса, сек.
	час.	мин.	сек.			час.	мин.	сек.	
2	20	29	20	—	П е р е р ы в				
3	—	—	40	20	5	21	01	05	—
3	—	31	12	32	2	—	—	27	22
5	—	—	20	8	1 и 2	—	—	35	8
1	—	—	50	30	1	—	—	40	5
2	—	32	20	30	5	—	02	08	28
5	—	—	30	10	2	—	—	17	9
1	—	—	43	13	1, 2, 3, 4 и 5	—	—	38	21
2	—	33	15	32	2	—	—	03	08
1	—	—	40	25	1, 3 и 4	—	—	28	20
2	—	—	45	5	2	—	—	48	20
4	—	34	13	28	5	—	04	—	12
5	—	—	32	19	1 и 5	—	—	10	10
3	—	—	37	5	3	—	—	40	30
2	—	—	45	8	2	—	04	50	10
1	—	—	51	6	1	—	05	10	20
2	—	—	58	7	3, 4 и 5	—	05	16	6
2	—	35	15	17	1	—	—	45	29
2	—	—	35	20	2	—	—	53	8
3	—	36	05	30	2, 3 и 4	—	06	10	17
2	—	—	19	14	2	—	—	40	30
1	—	—	22	3	2	—	—	15	35
5	—	—	35	13	2	—	—	30	15
4	—	—	40	5	5	—	—	38	8
1 и 2	—	37	—	20	2	—	—	40	2
4 и 5	—	—	10	10	2	—	07	03	23
3	—	—	24	14	2	—	—	04	—
2	—	—	37	13	2	—	—	15	12
4 и 5	—	—	40	3	2	—	—	25	10
5	—	38	30	50	2	—	—	35	10
1 и 2	—	—	35	5	2	—	—	53	18
3	—	39	14	39	1	—	—	08	04
1 и 2	—	—	20	6	2	—	—	06	11
1	—	40	—	50	3	—	—	—	2
2	—	—	20	20	П е р е р ы в				
5	—	—	25	5	5	—	42	45	—
3	—	—	40	15	1	—	—	55	10
1	—	41	45	5	2	—	43	03	8
2	—	—	55	10	2	—	—	30	27
1	—	42	05	10	1	—	—	40	10
2	—	42	35	30	4 и 5	—	—	53	13
П е р е р ы в					2	—	—	14	21
3	—	50	45	—	2	—	—	59	45
1	—	51	10	25	3	—	45	25	26
3	—	—	25	15	1	—	—	30	5
1 и 2	—	—	35	10	2	—	—	35	5
5	—	52	18	43	5	—	46	07	32
4	—	—	25	7	3	—	—	20	13
4 и 5	—	—	45	20	2	—	—	35	15
3	—	—	55	10	2	—	—	58	23
2	—	53	05	10	4 и 5	—	47	05	7
2, 3 и 4	—	54	55	50	3	—	—	08	3
2 и 3	—	55	15	20	2	—	—	18	10
2, 3 и 4	—	—	40	25	4	—	—	35	17
1	—	—	55	15					
2, 3, 4 и 5	—	—	57	2					

Таблица 2 (продолж.)

№ выводного отверстия	Время выброса			Промежуток времени после предыдущего выброса, сек.	№ выводного отверстия	Время выброса			Промежуток времени после предыдущего выброса, сек.
	час.	мин.	сек.			час.	мин.	сек.	
5	—	—	45	10	1 и 2	—	16	15	21
4	—	—	50	5	3, 4 и 5	—	—	28	13
2 и 3	—	—	58	8	2	—	17	43	15
2	—	48	20	22	1 и 4	—	17	—	17
2	—	—	30	10	2 и 3	—	—	25	25
5	—	—	32	2	1 и 4	—	—	45	20
2	—	—	43	11	2	—	18	05	20
5	—	—	47	4	3, 4 и 5	—	—	13	8
3, 4 и 5	—	49	10	23	1 и 2	—	—	24	11
2	—	—	15	5	3	—	—	45	21
2	—	—	28	13	2	—	—	57	12
5	—	—	35	7	1 и 4	—	19	10	13
4 и 5	—	—	45	10	2 и 3	—	—	27	17
2	—	—	50	5	2	—	—	55	28
4 и 5	—	50	05	15	1 и 4	—	20	10	15
3	—	—	23	18					
2 и 5	—	—	35	12					

П е р е р ы в

П е р е р ы в

					1	—	22	08	—
					2	—	—	18	10
2	22	10	15	—	5	—	—	35	17
1	—	—	20	5	2	—	—	45	10
2	—	—	27	7	1	—	—	53	13
1	—	—	37	10	4	—	23	10	12
2	—	—	48	11	2	—	—	40	30
3	—	11	—	12	2, 3 и 5	—	24	15	35
1 и 2	—	—	20	20	4	—	—	25	10
2	—	—	35	15	5	—	—	50	25
2	—	12	04	29	2 и 1	—	—	58	8
2	—	—	15	11	2	—	25	33	35
1	—	—	30	15	5	—	—	55	22
2	—	—	40	10	2	—	26	15	20
2	—	—	54	14	1	—	—	18	3
1	—	13	22	28	4 и 5	—	—	24	6
3	—	—	30	8	2	—	—	55	31
3	—	—	38	8	1	—	27	50	55
2	—	—	55	17	2	—	—	58	8
1	—	14	10	15	2	—	28	25	27
2	—	—	25	15	3, 4 и 5	—	—	32	7
2	—	—	35	10	2	—	—	47	15
1	—	—	42	7	1	—	29	17	30
2	—	15	04	22	2	—	—	35	18
2	—	—	12	8	1	—	—	37	—
2	—	—	36	28					

Затем выделений из фумарол не стало видно, а через минуту выделения паров из жерл как бы слились вместе. Наступила темнота, и наблюдения были прерваны.

Из данных табл. 2 усматривается следующее. Наиболее часто выбросы паров происходили из восточного жерла. Промежутки между выбросами составляли в среднем 10—13 сек., а взятые в отдельности по каждому выводному отверстию достигали у восточного жерла

60—90 сек., у западного—137 сек., у фумарол 3, 4 и 5, соответственно, 120, 250 и 120 сек. Наблюдались еще более длительные промежутки, когда затихание в одном месте сочеталось с оживлением в другом. Так, когда западное жерло затихло на 10 мин.—с 21 ч. 43 м. 40 с. до 21 ч. 53 м. 35 с., тогда фумаролы (в особенности фумарола 3) стали выбрасывать пары чаще. Когда же с 22 ч. 10 м. 15 с. до 22 ч. 15 м. 36 с. прекратили действие фумаролы 3, 4 и 5, западное жерло, наоборот, участило выбросы. За этот промежуток в 5 м. 21 с. фумарола 3 дала три выброса. Следовательно, основным можно предположить восточное жерло, а остальные отверстия—второстепенными.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖЕРЛ И ТРЕЩИН

1. Расположение и форма выводных отверстий

В кратере Ключевского вулкана всегда наблюдалось существование нескольких выводных отверстий—жерл, трещин и фумарол (блуждающие жерла). Сводка всех имеющихся сведений об их состоянии до 1936 г. включительно дана В. И. Влодавцем (1940). Постоянно действующим жерлом являлось, очевидно, центральное или, как мы его называем в предыдущих статьях—Главное жерло, в отличие от паразитических побочных и других. Рядом с ним находилось Соседнее жерло (фиг. 17). Около этих двух жерл внутри кратера 20 июля 1937 г. был констатирован конус из рыхлых продуктов, удлиненный в широтном направлении в связи с линейным расположением указанных двух жерл. Форма Главного жерла, судя по выбросам газовых колец, была цилиндрическая. В северной части кратера проходила широтная трещина с двумя короткими ответвлениями в юго-западном направлении. В восточной части трещина упиралась в стенку кратера, в западной части она была открыта. Трещины были прикрыты крупными блоками лавы (фиг. 34) и непрерывно парили.

Наиболее сильное выделение пара было приурочено к ее восточной части; здесь находилось, по видимому, восточное жерло, из которого еще в 2 часа и 2 ч. 30 м. того же дня, по наблюдениям со станции, выбрасывались бомбы.

Отсюда мы делаем заключение, что Восточное жерло находилось на восточном конце трещины и ночью после излияния из него лавы заполнилось ею; с остывающей лавой здесь было связано сильное парение во время нашего пребывания на кратере. Выделение пара из восточной части продолжалось до нового открытия жерл 25 августа.

Западное жерло в начале извержения было выражено не характерно; вполне локализовалось оно только после 26 июля 1937 г. Южное жерло намечилось в мае 1938 г. (см. Бюллетень № 7, стр. 13) и снова проявилось в начале октября (фиг. 35).

Расположение фумарол наблюдалось нами 10 июля 1937 г. 20 июля внутри кратера, кроме парящей трещины, были отмечены две фумаролы на северном склоне внутреннего конуса и два пятна

возгонов — одно в юго-восточной части кратера, другое — опять же на северном склоне внутреннего конуса (Бюллетень № 4, стр. 7). У север-



Фиг. 34. В кратере среди рыхлых отложений выступает полоса блоков лавы.
Фото П. П. Дьяконова.



Фиг. 35. Выделение паров из южной (слева) и западной (справа) частей кратера. Вид с востока 9 октября 1938 г.

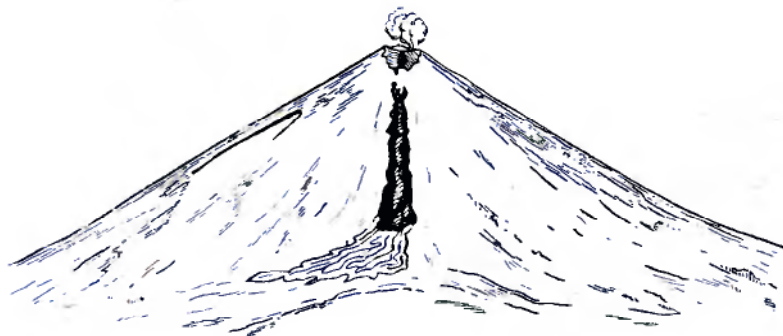
ной стенки кратера мы наблюдали фумаролы по трещинам широтного простираия и южного падения (фиг. 36 и 15). Много позднее после окончания извержений, на лавовой коронке обособились фумаролы по системе трещин широтного и юго-юго-западного направ-

вления, а на восточном склоне — по трещинам примерно широтного направления.

По наблюдениям над вулканом 15 июля 1938 г. был составлен схематический разрез расположения канала, жерл и fumarольных



Фиг. 36. Трещины у северного края Главного кратера 20 июля 1937 г.
Фото П. П. Дьяконова.



Фиг. 37. Вид с запада на лавовый поток Главного кратера Ключевского вулкана.

трещин. До того, как удалось установить точное направление трещины, мы писали или о «западной трещине» (Меняйлов и Набоко, 1939 а—б), или о «трещине примерно широтного направления» (Меняйлов и Набоко, 1939в). В табл. 3 приводятся данные, характеризующие ориентировку трещин и кратеров на западном склоне.

Таким образом, крупные трещины, сбросовые плоскости и кратеры имеют направление на ЗСЗ (310—320°) и расположены под углом

Таблица 3

Трещины, сбросы и потоки на западном склоне

Абсолютная высота, м	Азимут	Размеры	Характер деятельности
2700—2800	25—45°	Мелкие трещины Ширина свыше 10 см, длина 20—30 м Трещины в лаве Короткие трещины Сбросы в лаве и стенке ледника	Парящие Сухой газ. Темпера- тура высокая Сухие газы Температура высокая
2870	95°		
3170	—		
3235	—		
3310	320° ¹		
3420	—	Около ледяных стен белые пары фумаролы	—
Общее направление потоков	310°	—	—

50—60° к линии кратеров восточного склона. Описание побочных кратеров 1938 г. дано в работе Набоко (1940), а кратеров 1932 г. — в работах Кулакова, Святловского и Дитерикса, а потому я здесь на этом останавливаться не буду.

2. Деятельность жерл

Главное жерло всегда действовало чаще и сильнее остальных, но оно иногда прекращало работу за счет других жерл, главным образом восточного, а позднее — за счет паразитических и побочных кратеров. Это активное жерло во время нашего посещения кратера 20 июля 1937 г. почти непрерывно выбрасывало с грохотом бомбы, газы и пары воды. Соседнее жерло, расположенное на ЗЮЗ, изредка извергало черные пепловые облака, а Главное жерло в это время выделяло только белые пары воды без бомб. После этого опять возобновлялись бомбовые выбросы из Главного жерла, потом слышался засасывающий шум, и вновь происходил выброс пепла из малого Соседнего жерла с одновременным прекращением выбросов бомб из Главного жерла. Так продолжалось 2 часа, пока мы стояли на краю кратера.

Восточное жерло проявляло довольно большую активность, уступая только Главному жерлу, но активность его характеризовалась периодичностью. До начала извержений с октября 1936 г. по апрель 1937 г. Восточное жерло действовало чаще Главного кратера, причем выбрасывало как газы, так и рыхлые продукты. Деятельность обоих этих жерл иногда перемежалась: Восточное давало выбросы, а Главное только парило (17 февраля, 10 июня 1937 г.) или, наоборот, Главное жерло давало выбросы, а Восточное парило. В первый период извержения Восточное жерло вначале парило и, вероятно, дало первую майскую эффузию (а до него пепловую эксплозию 9 мая), после которых оно замолкло до извержения 10 июня. Во время этого извержения оно давало пепловые выбросы, а Главное жерло или давало такие же выбросы, или же только парило. После этого оно с 11 июня вновь не про-

¹ В Бюллетене № 7, 1939, стр. 13, описка: вместо 140° напечатано 40°

являло признаков деятельности до 2 июля, когда период покоя сменился возобновившейся деятельностью. После извержения 20 июля Восточное жерло ослабило активность и парило только 9 и 24 августа. С 26-го вновь начались выбросы, которые время от времени повторялись вплоть до 8 сентября.

После извержения 12 сентября наблюдалось только парение его 13 и 21 сентября и 10—13 октября. После же извержения 13 октября оно замолкло на продолжительный срок, и только 12 мая 1938 г. над кратером появилось два столба: один над Главным жерлом, другой, вероятно, за Восточным. 1 и 5 мая были видны выделения пара над Восточным жерлом. 12 июля — ритмичные выбросы, и 28 сентября — парение.

Таким образом, подытоживая деятельность Восточного жерла, можно сказать, что оно было весьма активным, в особенности перед извержением и в момент самого извержения. С окончанием извержения жерло обычно надолго прекращало действие и пробуждалось вновь только перед последующими сильными извержениями. Очень характерно то, что оно совершенно не давало освещения. Отсюда напрашивается вывод о форме восточного канала; это было крупное и постоянное ответвление от главного канала с изгибом у самого выхода на восток. Благодаря такому характеру изгиба открывался беспрепятственный выход для газа, пепла и лавы, но поступала в него лава из главного канала только в самый момент излияния.

Соседнее с центральным жерло, наблюдавшееся нами на кратере 20 июля 1937 г., давало в то время исключительно пепловые выбросы. Не исключено, что оно существовало продолжительное время, но отделить со станции проявления его деятельности и деятельности центрального жерла было невозможно. Может быть, в течение длительного времени Соседнее жерло выбрасывало рыхлые продукты (пеплы), а Главное жерло — бомбы, газы и пары воды; однако 10 июля 1937 г., например, белые пары давало Соседнее, а голубые — Главное жерло. Газообразные выделения разных цветов в центральной части кратера могли вообще раздельно принадлежать Главному и Соседнему жерлам.

Западное жерло (вернее, западная часть кратера) действовало редко, причем проявлялась его деятельность в парении (1, 6 и 7 февраля 1937 г.), а может быть, и всего лишь в фумарольной активности (5, 9, 17 ноября, 19, 24, 29 декабря 1937 г.; 3 января и 17 марта 1938 г.). Самостоятельная деятельность его начинается с 18 июня 1937 г. и вполне обозначается с 24 июля. С 31 июля при описаниях вулканических проявлений жерло это фигурирует под названием Камули. Действие Камули заканчивается с прорывом побочных кратеров на восточном склоне. В активный период работа его заключалась в освещении (например, 12 августа, 8 декабря) и в выбросах бомб. Были моменты (4 августа), когда зарево вспыхивало попеременно то над Камули, то над Радистом. Довольно характерно то, что из Камули никогда не наблюдалось пепловых выбросов и сильных газообразных выделений.

По характеру деятельности Западное жерло существенно отличается от Восточного и Соседнего. Последние два жерла приближаются к типу гейзера, Западное же представляет собой открытое жерло, непосредственно наполняющееся магмой.

Паразитические и побочные кратеры 1937 и 1938 гг. Расположение и деятельность их описывались в Бюллетенях № 4—8 (1938—1940). Здесь остановимся на некоторых моментах, характери-

зующих их взаимодействие. 2 и 13 сентября зарево появляется над Радистом, но его нет над Камули. 3 сентября активность (освещение) Радиста совпадает с активностью Главного жерла, но опять-таки не распространяется на Камули. Интересно проследить взаимодействие всех жерл — как Главного кратера, так и паразитических — на восточном и западном склонах. Наблюдения производились одновременно с различных пунктов, так как в с. Ключи низкая облачность препятствовала им. Работа Главного и западных кратеров наблюдалась с вершины Шевелуча (Меняйлов, 1939б), а действие побочных кратеров — с наблюдательного пункта у кратера Билукай. В 10 час. из всего Главного кратера наблюдалось выделение паров, причем наиболее интенсивным оно было в юго-восточной части. Пары поднимались на высоту 300—350 м. В 11 ч. 30 м. из Радиста произошел выброс клуба дыма серого цвета высотой в 400 м, а Козей выбросил клуб паров воды белого цвета, высотой несколько ниже, чем у Радиста. В 11 ч. 38 м. Перевальный дал невысокий выброс газообразных продуктов, слабо насыщенных пеплом. В 12 час. из Главного кратера произошел выброс, образовавший устойчивый пиниеобразный столб высотой в 500 м. Столб был белого цвета, за исключением его юго-восточной части, имевшей темную окраску.

В 10 час.¹ из Основного жерла Билукай выбрасывалось небольшое количество относительно мелких бомб, и над ним образовалась тонкая струйка голубоватого дыма.

Соседнее жерло Билукай бездействовало, выделяя немного белого дыма.

Лавовое жерло Билукай выделяло голубоватый дымок.

Из юго-восточной и северной частей кратера вулкана виднелись тонкие струйки пара.

Позднее, в 10 ч. 13 м., Соседнее жерло Билукай заработало интенсивнее и стало выбрасывать с грохотом очень большие столбы черного дыма, нагруженного большим количеством крупных бомб («сильный выброс») попеременно с выбросами серого дыма без бомб, не сопровождавшимися грохотом. В 10 ч. 30 м. снова произошел сильный выброс с молниями. После черного дыма появился серый с особенно высоким подбросом бомб. Столб долгое время стоял над кратером. Такие выбросы повторялись несколько раз; они зарегистрированы в 10 ч. 38 м., 11 ч. 15 м., 11 ч. 30 м. В 11 ч. 58 м. после «сильного выброса» долгое время шел серый, слабо насыщенный пеплом дым. В 12 ч. 43 м. и 12 ч. 48 м. повторялись «сильные выбросы»; в последнем случае они сопровождались сильным «шипением».

Основное жерло Билукай выпускало серую струю дыма; бомб выбрасывалось мало, и удары были глухие. В 14 ч. 16 м. отмечено выделение темносерой струи дыма с умеренным количеством бомб (значительно меньшего размера, чем у Соседа) и «чахлым стуком». В 17 ч. 03 м. наблюдалось увеличение количества бомб; Сосед парил в это время. В 18 ч. 36 м. отмечено усиление активности Соседа. В 19 ч. 33 м. Основное жерло выбросило под некоторым углом многочисленные бомбы и выпустило небольшую вертикальную струю серого дыма.

¹ Возможно, что показания часов при наблюдениях в лагере у Билукай и на главной вершине Шевелуча несколько не совпадали, так как точной выверки их не было, но приблизительно они были верны, и последовательность обрисована правильно.

Соседнее жерло до 20 час. работало с той же переменной силой выбросов, как и вначале. Вот засечки его выбросов: 13 ч. 08 м., 14 ч. 16 м., 15 ч. 15 м., 15 ч. 42 м., 16 ч., 16 ч. 40 м., 17 ч. 32 м., 17 ч. 50 м., 18 ч. 06 м., 18 ч. 15 м., 18 ч. 36 м. 18 ч. 45 м., 19 ч. 59 м. Только в 19 ч. 33 м. отмечено слабое парение без выбросов.

Лавовое жерло Билюкая все время сохраняло прежний характер своей деятельности: выделялся голубоватый дымок, из жерла валами изливалась лава. Верхних жерл и Главного кратера все это время не было видно.

Таким образом, в этот пасмурный, облачный день деятельность всех жерл сводилась к следующему. С утра Главный кратер выделял пары из двух центров. В 11 ч. 30 м. происходили одновременные выбросы на западном склоне из кратера Радиста и на восточном из маар Козея и Соседнего жерла Билюкая, в последнем случае с сильным выбросом бомб. В 11 ч. 38 м. был выброс только из кратера Перевального. В 12 час. выброс из Главного кратера Ключевского вулкана сопровождался выбросом из Соседнего жерла Билюкая с последующим продолжительным истечением слабо насыщенного пеплом дыма. Деятельность Основного жерла Билюкая после 12 час. протекала с увеличивающейся интенсивностью, Соседнее же жерло работало все время почти одинаково, и характер его деятельности изменился только в 11 ч. 30 м и в 12 час.

Состояние паразитических кратеров 1932 г. На общем фоне затухающей деятельности этих кратеров, в связи с извержениями Главного кратера Ключевского вулкана, наблюдались определенные изменения в работе фумарол. Так, по данным химических исследований Иванова (1938), в мае, июне и июле 1937 г. наблюдалось в фумаролах повышение температуры и возрастание содержания HCl , CO и H_2 . Повышение активности фумарол отмечено также во время прорыва новых побочных кратеров в 1938 г. (Меняйлов и Набоко, 1939 б; Набоко, 1939). Оно сказалось в повышении температур и изменении состава газов (и возгонов) в фумаролах № 5 и 6, расположенных на трещинах широтного направления. В то же время фумаролы, расположенные на меридиальных трещинах, своей активности не повышали.

В период извержений 1937—1938 гг. наблюдалось появление новых трещин, причем направления их в 1937 г. приближались к меридиальному, а в 1938 г. — к широтному (см. ниже).

Таким образом, проявление вулканических сил происходило по старым швам, сохранившимся с 1932 г. Это близко напоминает извержение 1925—1926 гг. Санторина, где через 3—6 дней после начала извержений заработали фумаролы старых куполов, появились новые трещины, повысилась температура источников и т. п. В дальнейшем перемены в деятельности купола Дафни точно отражались на старых фумаролах.

При наблюдениях над деятельностью вулкана нами всегда отмечался цвет его выделений и, следовательно, определенное состояние магматического очага или высоты уровня магмы. Газообразные продукты голубого цвета выделяются обычно непосредственно из лавы (10, 20 июля 1937 г.) или из фумарол с высокой температурой (30 мая 1938 г.). Они содержат высокотемпературные газы, и в них чувствуется обычно запах свободного хлора, паров же воды в них мало. Этот дымок обычно не густой, в противоположность густым, непрозрачным белым выделениям. Последние поднимаются, повидимому, из более глубоких частей вулканического аппарата (из канала ствола

или из низкотемпературных фумарол). По составу и физическому состоянию их нужно считать парами воды, уже значительно конденсированными. Выделения газа черного и серого цветов представляют те же белые выделения, более или менее насыщенные твердыми частичками лавы.

По форме выделения газообразные продукты также отличаются друг от друга. Голубые выделения обычно бесформенные, невысокие. Белые выделения иногда бесформенны, но чаще имеют форму клубков, струй, столбов, пиний и пр. Серые и черные выделения отличаются той же формой, но с более резкими очертаниями, чем у белых выделений. Кольца наблюдались: белые — 10 и 26 июля и 8 августа, серые — 9 мая. Следовательно, кольца образовывались только в моменты высокого напряжения очага при условии цилиндрической формы вулканического канала и его верхней части.

Многие формы выделений уже охарактеризованы В. И. Влодавцем (1940). В настоящей работе мы ограничиваемся тем, что помещаем несколько зарисовок форм выделений газообразных продуктов, наблюдавшихся в периоды извержений и характеризующих эти извержения.

II. КОЛИЧЕСТВО ИЗВЕРЖЕННОГО МАТЕРИАЛА

Подсчет количества изверженного материала производился следующим образом. Масса его на конусе Ключевского вулкана оценивалась со станции с помощью кипрегеля: длина и ширина потоков определялись после каждого извержения. Высота или мощность потоков принималась в 2—4 м, т. е. та, которая наблюдалась при подъеме 20 июля 1937 г. как у майского потока, так и у старых вершинных потоков. Масса лавы западного склона высчитана по величинам, определенным на-глаз в непосредственной близости 30 мая 1938 г. На других склонах нам побывать не пришлось, поэтому масса лавы на них определена по аналогии с западным склоном. Наконец, масса лавовых потоков восточных кратеров высчитана на основе топографической карты (см. Набоко, 1940).

Таблица 4

Подсчет объема лавовых потоков 1937—1938 гг. на конусе Ключевского вулкана

Потоки	Длина, м	Ширина, м	Мощность, м		Объем, м ³	
			от	до	миним.	максим.
Майский	80	15	4	8	4 800	10 000
20 июля	1800	100	2	4	360 000	720 000
16 августа	600	50	2	4	60 000	120 000
3—4 сентября	1400	200	2	4	560 000	1 120 000
13 сентября	—	—	—	—	100 000	200 000
2—3 октября	—	—	—	—	500 000	1 000 000
13 ноября	800	150	2	4	240 000	480 000
Западный склон	2000	200	10	15	4 000 000	6 000 000
Другие склоны (по аналогии)	—	—	—	—	2 000 000	4 000 000
Итого излитых масс	—	—	—	—	7 824 800	13 650 000

Рейер (Мушкетов, 1935) разделяет потоки следующим образом:

Маленькие	10 000 000 м ³ = 0.01 км ³
Большие	100 000 000 » = 0.1 »
Исполинские	1 000 000 000 » = 1.0 »

Следовательно, у нас потоки были очень «маленькие», не превышавшие значительно 0.001 км³, и только у Билюкая размер потоков достигал 0.01 км³, т. е. тех размеров, которые Рейер относит к «маленьким».

Субъективный метод оценки не дает полной уверенности в точности определения массы каждого извержения, однако эти определения приводят к цифрам, достаточно надежным для относительного суждения о силе извержений.

Количество лавы в потоках увеличивалось с каждым извержением, вплоть до прорыва западных кратеров. После этого оно понизилось, но опять стало возрастать до кульминации, когда особенно много излилось лавы во время извержений 2 и 3 сентября и 2 и 3 октября. После кульминации масса лавы стала убывать и, обратно, все время увеличивалось количество пепла. При этом наибольшее количество пепла выпадало в моменты прорыва новых паразитических кратеров, а именно 2 октября 1937 г. и 8 февраля 1938 г.

6 марта были выброшены еще значительные массы пепла, затем количество его резко снижается, и после 7 апреля 1938 г. выбросы пепла совершенно прекращаются.

Общее количество изверженного материала выражается следующими цифрами (в млн. м³):

Лава Билюкая, излившаяся с 8 февраля по 13 сентября 1938 г.	180
Рыхлые продукты конуса Билюкая	2.5
Пеплы Главного, западных и восточных (Козей) кратеров	180
Лава Главного кратера	14
Бомбы и лапилли (взята 1/3 от общей массы лавы)	5
<hr/>	
Всего	381.5 млн. м ³

Эта цифра несколько преуменьшена, так как не учтены те пеплы, которые вошли в строение конуса, и то количество лавы, которое изливалось из Билюкая несколько месяцев спустя после нашего отъезда с Камчатки. Таким образом, извержения Ключевского вулкана в 1937—1938 гг. по количеству изверженного вещества, равному 0.4 км³, относятся, согласно классификации Саппера (1927), к извержениям второго порядка (от 0.1 до 1 км³).

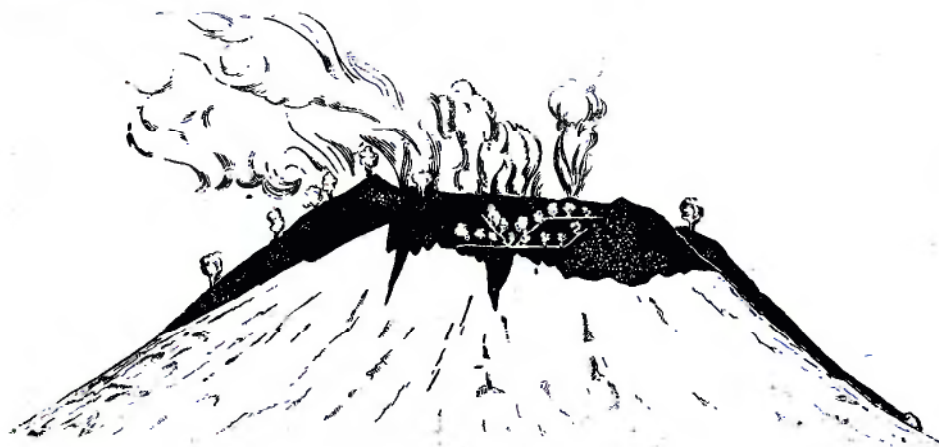
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СВЯЗИ С ДРУГИМИ ПРИРОДНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Вопросами связи вулканических извержений с солнечной активностью, атмосферными условиями и землетрясениями, приуроченности извержений к различным положениям земли по отношению к солнцу, луне и планетам, а также вопросами периодичности вулканической активности занимались многие исследователи.

В одних случаях они убеждались в существовании связей, в других эти связи им казались сомнительными.

Из-за неодинаковой полноты знаний в разных областях мы не в состоянии дать равноценное освещение связи извержений с различными явлениями. Так, нам более подробно удалось осветить связь с атмосферными условиями, в то время как связи с другими явлениями, особенно с землетрясениями, разобраны с меньшей полнотой. Более того, в этой работе мы совершенно не пытались увязать вулканические явления с общими физико-химическими процессами.



Фиг. 38. Фумаролы на лавовой коронке 20 июня 1938 г

I. МАГМА И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СИЛЫ

Расположение вулканов и их активность находятся в несомненной связи с тектоникой областн. В отношении расположения вулканов Камчатки в последние годы А. Н. Заварицкий (1937) выделяет ССВ и ЗСЗ направления, а В. И. Влодавец (1940) для Ключевской группы вулканов — радиальные и круговые трещины и блоковую структуру.

Тектонические напряжения участка земной коры, заключающего вулканический аппарат, время от времени меняются. При наличии для Камчатки двух основных тектонических направлений, близких к широтному и меридиальному, деятельность Ключевского вулкана часто приурочивалась к одному из них. Это обнаруживалось по преобладающей активности (парению, излиянию и пр.) трещин того или другого направления.

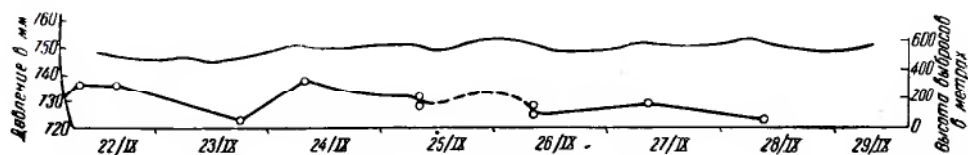
Наиболее сильные выделения газов в большинстве случаев были связаны с трещинами ЗСЗ направления. Особенно ясно это проявилось: 6—7 и 10 апреля, 19—20 и 26 июля, 1—2 сентября, 13, 16, 22, 29 октября, 3, 8 декабря 1937 г.; 19 апреля, 25, 31 мая, 15 июля, 31 августа, 19 сентября 1938 г. По трещинам ССВ направления газовые выделения проявлялись несколько слабее и реже: 10 мая, 17, 24 июля, 19 августа, 3, 12, 17, 22 сентября, 9 декабря 1937 г. Наконец, одновременно по трещинам обоих направлений активность проявлялась: 13—25 ноября 1936 г.; 24 июня, 16 июля 1937 г.; 20 июня 1938 г. (фиг. 38).

На основании всех данных наблюдений можно выделить периоды проявления вулканической активности по определенным направлениям. Так, от 3 до 22 сентября или даже до 13 октября 1937 г. землетрясения

и газовой выделения были приурочены преимущественно к трещинам ССВ направления, причем обычно повышенная деятельность вулкана предшествовала землетрясениям (открытию трещин) или же следовала за ними, а иногда сопровождала землетрясения, начинаясь несколько раньше и заканчиваясь позже их. К тому же направлению приурочены и наисильнейшие извержения кульминационного периода. Под конец второго периода, с 6 октября 1937 г. до 6 февраля 1938 г., сказывалась связь вулканической деятельности с трещинами широтного направления. Почти все извержения этого времени (5, 8 декабря, 9, 18—19, 24 января) происходили при сильной активности западных кратеров.

II. ЗАВИСИМОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ОТ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

При анализе атмосферных условий необходимо иметь в виду две стороны явления: а) влажность воздуха и б) давление атмосферы. В зависимости от этих состояний атмосферы (не всегда параллельных друг другу) наблюдались различные проявления газообразной деятельности вулкана.



Фиг. 39. Барограмма (верхняя кривая) и высоты выбросов (кружочки на нижней) 22—28 сентября 1938 г.

Влияние влажности и облачности атмосферы на характер вулканической активности особенно разительно обнаружилось после рассеяния облаков. Тогда над кратером начинались энергичные, высокие и частые выделения и выбросы газообразных продуктов. Спустя некоторое время количество выбросов обычно уменьшалось.

Точно так же на характер выбросов влияла облачность, — в таких случаях обычно происходили выбросы рыхлых продуктов (пепла), наглядным примером чему может служить деятельность вулкана 10 июля 1937 г. (см. выше).

Влияние атмосферного давления на интенсивность или высоту газообразных выделений и выбросов из вулкана. На барограмме за 22—28 сентября 1938 г. ясно видна параллельность кривых атмосферного давления (верхняя) и высот выделения газообразных продуктов (нижняя). Нижняя кривая составлена на основании отдельных замеров высот выбросов; замеры производились или в момент наиболее четкого проявления выбросов, или же в момент изменения высот выбросов. Как видно, большинство точек высоты выбросов лежит против перегибов кривой атмосферного давления. Линии же, соединяющие точки, в некоторой мере параллельны кривой линии давления.

Параллельность изменения давления и интенсивности газообразных выделений хорошо видна в пределах одного дня, например 17 февраля и 10 марта (см. табл. 5).

Высоты выбросов и состояние атмосферы

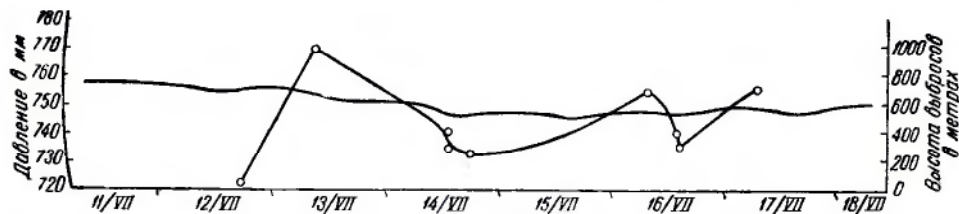
Таблица 5

Время	Высота выделений, м	Рыхлые продукты	Давление, мм	Температ. воздуха в Ключах	Ветер		Д а т ы	Время		Высота выделений, м	Рыхлые продукты	Давление, мм	Температ. воздуха в Ключах	В
					в Ключах	в кратере		час.	мин.					
—	850	—	756.5	—	Штиль	—	Март	2	18	100	—	750	-12	3
1	120	—	755	—	В	—			9	260	—	758	-10	»
5	1650	—	753.5	—	В (слаб.)	—		5	10	100-400	—	766	-14	»
2	80	+	760	—	ЮВ (слаб.)	—		10	18	100	—	760	-12	В
2	20-120	+	755	—	В	—		10	9	100	—	744	-5	—
3	300	+	756	—	С	Ю (сильн.)		14	16	1200	—	746	-4	3
5	450	+	754	—	»	»		14	15	1100	—	747	-5	»
0	4000	+	—	—	—	»		15	18	800	—	748	-5	»
4	350	+	758	—	СЗ	ЮВ		15	12	600	—	751	—	»
9	1300	+	760	-9.5	З	СВВ		16	14	800	—	751	-7	»
9	200	+	760.5	-21	В	З		17	9	200	—	757	-16	В
0	130	+	760	-1	»	В	Апрель	2	10	100	—	757.5	-16	»
4	130	+	761	-11.5	С	—		2	9	850	—	749.5	—	—
4	20	+	765	-10.5	»	СЗ		2	12	300-400	—	748	—	—
9	50	+	752	-10	З	З		3	11	850	—	751	+6.5	3
6	75	+	—	-15	»	»		4	9	260	—	751	-2	—
1	100	+	750	-25	»	»		5	9	130	—	752	-0.5	С
9	75	+	753	-25	»	»		8	14	325	—	750	+6	ЮЗ
7	120	+	750	-26	В	ЮЗ		10	13	600	—	754	—	—
0	45	+	746	-22	З	»		20	19	200	—	752	—	—
1	50	+	749	-20	»	Ю		21	10	300	—	756	—	—
1	20	+	755	-30	Ю	ЮЗ		24	16	500	—	748.5	—	—
2	650	+	755	-30	»	»		27	20	100	—	764	-2	3
4	520	+	752	-30	»	»		28	6	100	—	769	-1	В
0	1200	+	745	-28	З	В		6	30	350	+	769	-1	»
2	200	++	741	-25	»	»	Май	7	15	500	+	769	+1	»
3	1500	+++	—	—	»	»		9	4	260	+	745	+7	3
4	320	+++	742	-24	»	»		10	11	1000-1500	+	758	—	ЮЮЗ
6	1000	+++	745	—	»	СЗ		10	5	100	+	760	+5	3
9	500	+++	742	—	»	З		26	8	150	+	759	9	СВ
1	390	+++	746	-25	»	—		7	17	1800	+	755	+30	3
3	—	—	740	-15	В	—		8	8	300	+	755	10	»
5	500	++	755	-18	З	Ю	Июнь	9	9	160	—	755	13	»
5	60	+	751	-10	»	С		10	10	520	—	755.5	23	3
6	150	+	—	-12	»	»		21	55	100	—	—	—	В
6	600	+	741.5	—	—	—		21	—	1625	—	—	—	—
3	320	—	745	-10	З	В		22	30	3250	—	757	—	—
9	325	—	767	-27	»	З		10	1	6825	—	—	—	—
1	180	—	768	-14	В	»		7	30	260	—	—	—	—
6	200	—	755	-10	ЮЗ	»		10	—	0	—	757	15	3
0	400	—	758	-24	З	»		11	—	320	+	757	—	»
6	465	—	755	0	»	С		11	20	400	+	757	—	»
9	1200	—	755	-26	СВ	СЗ		12	43	100-160	+	757	—	»
0	1500	—	—	-18	В	З		12	45	300	—	—	—	—
1	1600	—	753	-15	»	»		22	30	360	—	—	—	3
5	750	—	751	-15	»	»		22	40	460	—	755	15	»
8	220	—	749	-20	»	С		20	8	80	+	75	10	»
9	320	—	745	-26	»	З	Июль	24	18	1200	+	758	18	—
0	1100	—	747.5	-19.5	ЮЗ	ЮЗ		25	9	3000	+	760	—	В
9	500	—	741.5	-8.5	З	З		29	20	1800	—	761	—	—
2	700	—	741	-7	»	»		3	—	260	—	759	—	—
								4	10	130	—	760	24	—
								11	15	975	—	758	—	—
								11	16	650	—	—	—	—
								12	20	260	—	—	—	3
								20	19	1300	—	—	—	—
								31	17	1500	—	751	—	—

Таблица 5 (продолжение)

Д а т ы	В р е м я		Высота выделений, м	Рыхлые продукты	Давление, мм	Температ. воздуха в Ключах	В е т е р	
	час.	мин.					в Ключах	в кратере
Август	7	—	400		758	—	В	В
	8	15	200	+	759	—	»	»
		18	650	+	—	—	»	»
	9	10	650	+	760	30	СВ	З
		16	520		—	—	—	—
	12	11	780		755	35	В	З
	12	19	650		—	—	—	—
	17	17	700		—	—	—	—
	23	—	1650		756	22,5	В	СВ
	24	6	650		752	25	З	З

Другой случай дан на барограмме за 12—17 июля 1938 г. (фиг. 40), на которой изображены плавные колебания атмосферного давления и скачкообразные изменения высоты выделений. В этом случае высота выбросов и выделений газообразных продуктов не вполне параллельна изменению давления и зависит не только от него, но также и от других факторов, как экзогенных (температура и влажность



Фиг. 40. Барограмма (плавная кривая) и высоты выбросов (кружочки) 12—17 июля 1938 г.

воздуха), так и эндогенных (давление паров воды в магме). Об этих причинах будет сказано ниже.

Рассмотрим детально ранее отмечавшуюся (Меняйлов и Набоко, 1939 а—в) зависимость характера извержений от атмосферного давления. Так, при высоком давлении излияния лавы происходили: 24—25.VI, 20.VII, 3—4.VIII, 2—3.IX 1937 г.; 23—24.VIII, 2—3.IX, 13—14.X 1938 г. При низком давлении эксплозии происходили: 12—13, 22, 29—30.IV, 26—27.V, 17—18, 23.VI, 5—6, 12, 14—15, 19.VII, 22.IX 2—3.X, 5, 30.XII 1937 г. Не имеют ясно выраженной приуроченности извержения: 3—4.IV, 26.VII, 16.VIII, 8, 19—26.XII 1937 г.; 6.II 1938 г. (эффузивные); 20, 26.IV, 2—3.XI 1937 г.; 29.I, 1—2.II 1938 г. (эксплозивные) и 12.IX, 23—24.XII 1937 г.; 9, 18—19, 24.I 1938 г. (смешанного типа).

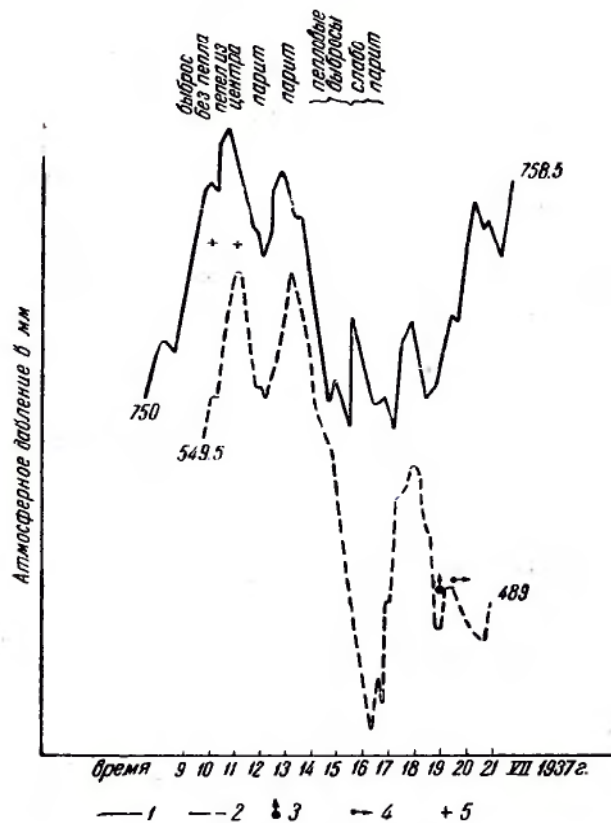
В табл. 5 мы приводим высоты выбросов в связи с состоянием атмосферы за время с 1.XI 1936 г. по 24.VIII 1937 г.

Одно из этих извержений было хорошо изучено вблизи от кратера и представлено здесь на диаграмме (фиг. 41), на которой видно, что эксплозии пепла 19 июля приходятся на минимум кривой давления, а излияние лавы 20-го, следовавшее всего лишь через несколько часов, — на максимум давления. Такое же соотношение наблюдалось у восточных кратеров с 23 по 27 марта 1938 г. Эти соотношения

лишний раз показывают, что характер извержения зависит от относительного, а не от абсолютного значения величины атмосферного давления.

Попков (1941) свел в таблицу данные с 1935 по 1938 г., на основе которых он нашел такие пределы атмосферного давления для эксплозий:

Г о д ы	П р е д е л ы	Р а з н о с т ь
1935	752.0—774.7 мм	22.7 мм
1936	751.0—764.3 "	13.3 "
1937	750.0—761.9 "	11.9 "
1938	750.7—761.3 "	10.6 "
По статистическим данным наблюдений Попкова в 1939—1940 гг.	743.0—757.0 "	14.0 "



Фиг. 41. Атмосферное давление, (1 — в Ключах, 2 — на склоне вулкана) и характер вулканической деятельности Ключевского вулкана (3 — эксплозии, 4 — эффузии, 5 — грохот) 9—21 июня 1937 г.

Для изливания же лав он указывает пределы в 743—760 мм.

Эти данные указывают на то, что средние пределы, более широкие перед периодом извержений (до 22 мм), во время извержений стали более узкими (до 11 мм) и, следовательно, это изменение атмосферного давления стало отражаться на уровне магмы значительно быстрее.

Для состояния вулкана в 1939 г. он дает такие данные: действие фумарол приурочено к давлению в 724—743 и 751—767 мм, действие жерл — 743—757 мм, действие всем кратером — 749—758 мм.

Таким образом, все извержения происходили при среднем давлении, равном в Ключах примерно 750—755 мм. Зависели же они главным образом от напряженности очага и затем уже от относительного значения атмосферного давления. На диаграмме фиг. 41 мы видим, как даже при наиболее высоких (11 июля — 761, 13 июля — 769 мм) и низких (16—17 июля — 749 мм) перегибах не происходило извержений, а наблюдалось лишь непрерывное выделение паров, в то время как на перегибе кривой не очень низкого минимума 19 июля последовало пепловое извержение, а на перегибе невысокого минимума 20-го — излияние лавы. Трудно было бы уловить эту закономерность, имея только кривую давления в с. Ключи, ибо изменение давления, как мы видим на диаграмме (фиг. 41), происходит не строго параллельно в верхних и нижних слоях атмосферы.

Во время извержения смешанного типа 9—10 июня 1937 г. наблюдалось, как с 12 час. 9-го до 24 час. 10-го атмосферное давление понижалось, а высота выделений с 11 час. 9-го до 1 ч. 20 м. 10-го увеличивалась. После 1 ч. 20 м. она колебалась в пределах от 0 до 460 м. Здесь, следовательно, совершенно не видно какой-либо связи с атмосферным давлением, и высота вздымания паров зависела от состояния и напряженности магматического очага.

Чтобы уяснить себе зависимость вулканической деятельности от атмосферного давления на литосферу, взаимодействующую с магматическим очагом или же даже с магматическим слоем, рассмотрим прежде всего наиболее типичное эффузивное извержение 13 октября 1937 г. в 23 часа и эксплозивное извержение 21 октября того же года на фоне соответствующих этим датам синоптических карт.

На синоптической карте 21 октября 19 час. (фиг. 42) над средней Камчаткой приходится область низкого давления ($H = 990$ миллибар). На синоптической карте 14 октября 01 час. (фиг. 43), наоборот, области низкого давления расположены в отдалении от Камчатки — на Алеутских островах, в Тихом океане, в районе Сахалина и в Ледовитом океане, а через Камчатку проходит полоса высокого давления ($H = 1025$ миллибар). Разность давлений над Камчаткой 14 и 21 октября соответствует $1025 - 990 = 35$ миллибар. Чувствительно ли это изменение нагрузки на литосферу? Подсчеты показывают, что в среднем на 1 км^2 нагрузка атмосферы равна 13,6 млн. т, изменение же давления на 1 мм соответствует изменению нагрузки в 13 тыс., а на 30 мм — в 390 тыс. т. Такое изменение не может не отразиться на состоянии уже напряженной литосферы, примером чему для Камчатской области может служить ноябрьское землетрясение в 1936 г. (Меняйлов, 1938 а). Тогда сильное тектоническое землетрясение началось (14 ноября) при глубоком минимуме атмосферного давления (фиг. 44), последующие же толчки (20 и 25 ноября) опять следовали за спадом атмосферного давления. Так как в это время была ясно установлена и связь вулканической активности с землетрясением (Меняйлов и Набоко, 1939 а—б), то, следовательно, в этом и других подобных случаях можно ожидать с понижением атмосферного давления освобождения (облегчения) части нагрузки литосферы над магматическим очагом.

Кроме приведенных двух синоптических карт имеются еще краткие характеристики по синоптическим картам к 11 извержениям. Все эти 13 извержений сведены в табл. 6

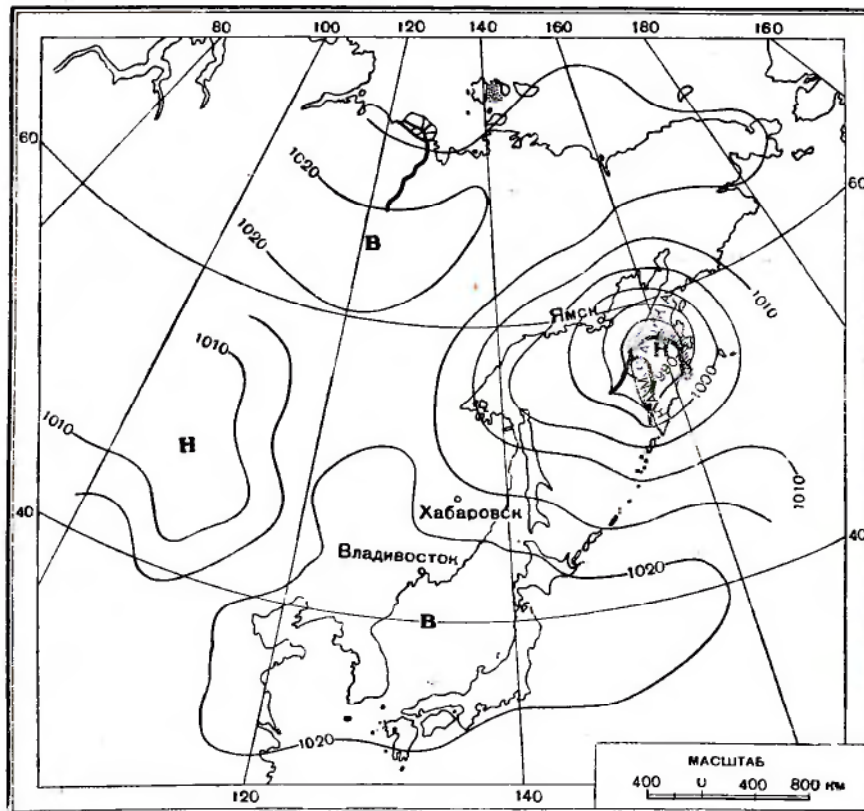
Таблица 6

Атмосферные условия над Камчаткой в моменты извержений

Д а т а	Характер распределения атмосферного давления	Тип извержений
1937	Низкое давление	
21 IX, 19 час.	Вокруг Камчатки 6 центров высокого давления. Давление резко падает	Сильные эксплозии пепла (грохот) начались в 22 часа. Это — типичное пепловое извержение
22 I X, 07 час.	Глубокий минимум на Алеутских островах	В 08 час. начались эксплозии (грохоты). Землетрясение 3—4 балла
2 X, 19 час.	Давление низкое, но не минимальное. Камчатка окружена 3 центрами низкого давления. Давление и влажность начинают увеличиваться	С 10 час. в продолжение суток пепловые эксплозии (грохот). Землетрясения.
18 XII, с вечера	Низкое давление на материке, высокое — на Тихом океане	В 18—19 час. наиболее сильные эксплозии
19 XII, 07 час.	Низкое давление на Камчатке, высокое — на Тихом океане и Охотском море	Действие вулкана слабое
30 XII	Низкое давление на Камчатке, высокое — на Аляске и в Азии	Большой пеплопад
	Высокое давление	
14 X, 01 час.	Область высокого давления проходит через Камчатку полосой ССВ направления	13. X, 23 часа излияние лавы. Тип извержения эксплозивно-эффузивный
12 IX	Обстановка, аналогичная предыдущей	Тип извержения эффузивно-эксплозивный
1938	Распределение давления не характерно	
30 I	Высокое и низкое давление распределяются прихотливо; на Камчатке давление высокое	Эксплозии пепла
1937		
19 XII, 07 час.	На Камчатке и в северной области Тихого океана центры низкого давления, на материке — высокое давление	5, 6 и 7 XII эксплозии пепла
28 X	Области низкого и высокого давления соприкасаются. Давление растет (тыл циклона)	8 XII, 7 ч. 30 м. излияние лавы
14 XI	Распределение давления не характерно	Эксплозивное извержение с небольшим излиянием лавы
29 XI	Обстановка, аналогичная предыдущему случаю. Давление высокое	Тип извержения эффузивно-эксплозивный
18—19 I	Области низкого и высокого давления распространяются прихотливо и не дают характерной картины	Тип извержения эксплозивный Эксплозивно-бомбовинное извержение

Из этой таблицы видно, что пять эксплозий приурочены к ситуации низкого давления, одна эффузия и одно извержение смешанного типа — к ситуации высокого давления. В остальных шести случаях распределение давления не характерно, и говорить о какой-либо приуроченности извержения не приходится.

Из этих сопоставлений можно вывести то заключение, что региональное распространение низкого давления над Камчаткой, несомненно,

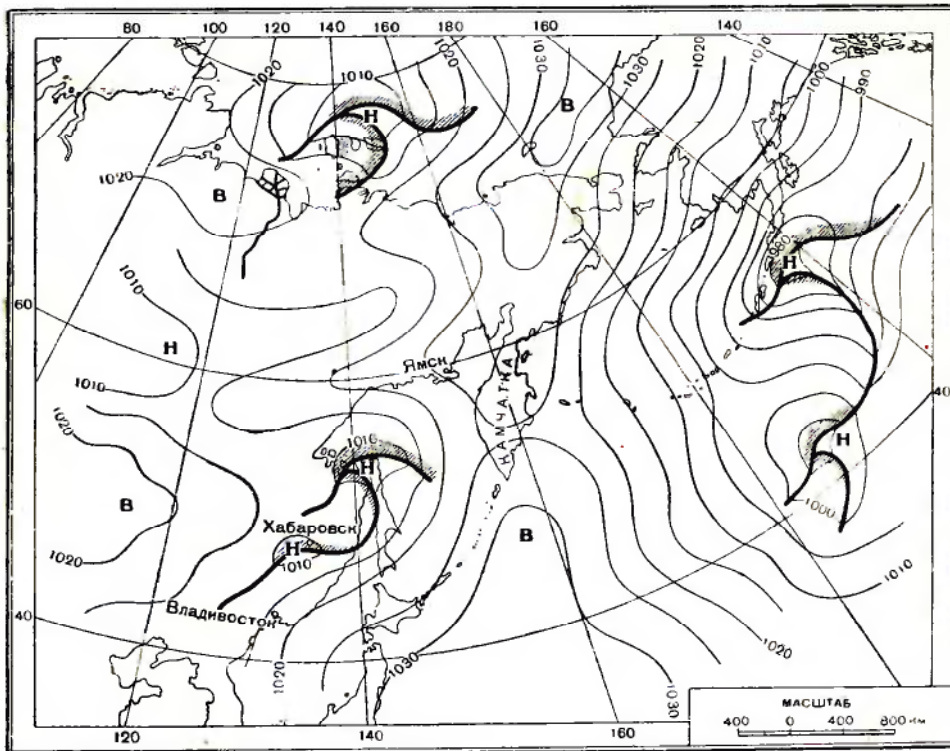


Фиг. 42. Синоптическая карта Камчатки и прилегающих областей на 21 октября, 19 час.

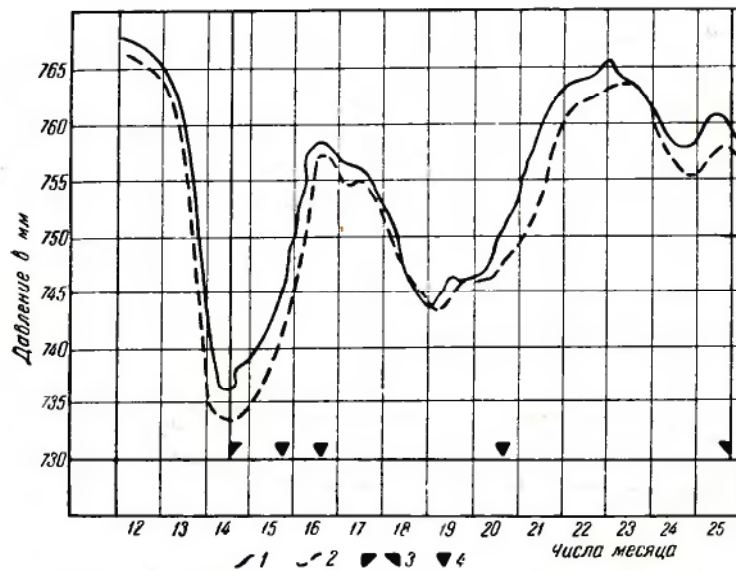
создает благоприятные условия для эксплозивной деятельности и землетрясений, иногда совпадавших во времени, как, например, 22 сентября и 2 октября 1938 г. Для излияний лавы, за исключением 1—2 случаев, определенной региональной обстановки не намечается. Для этого типа извержений (эффузивных) нужно обращаться главным образом к взаимоотношениям локального порядка, хотя не исключено, что очень сложное распределение давления при этом может быть трудно познаваемо.

Из атмосферных условий нами почти совершенно не учтена температура воздуха. Этот фактор особенно трудно учесть, поскольку для нас решающее значение имеет температура на высоте кратера, а такие измерения из-за трудности подъема почти не производились.

Обратимся теперь к структурным особенностям пеплов, которые позволяют судить о консистенции магмы во время эксплозии при различном давлении. Изменение характера магмы можно проследить по пеплам 14 эксплозивных извержений (Набоко, 1946). В табл. 7 сопо-



Фиг. 43. Синоптическая карта Камчатки и прилегающих областей на 14 октября, 01 час.



Фиг. 44. Атмосферное давление (1 — в Ключах, 2 — в Козыревске) и землетрясения (3, 4) в ноябре 1936 г. на Камчатке.

ставлены структурные особенности пеплов, атмосферное давление и другие сведения.

Таблица 7

Структура пепла и атмосферное давление

Дата	Тип извержения	П е п е л		Атмосферное давление		
		характер	состояние	относительное	тенденция	абсолютное мм
1936						
30 VIII	↕	Р	Т		↓	760,3—760,9
1937						
13 IV	↕	Р	Т	—	—	744,7
23—25 VI	↕↗	Ю	П	+	↑	751—758
19 VII	↕↗	Р	Т	—	↑	752
23 VIII	↕↗	Ю	ПТ	+	↘↗	756—752
27 VIII	↕↗	РЮ	Т и ПТ	+	↓	752—746
2 X	↕↗	Р	Т	—	↑	757—760
21 X	↕↗	РЮ	Т и ПТ	—	↘↗	741
23—24 XI	↕↗	Р	Т	—	↘↗	748—752
30 XI	↕↗	Ю	П	+	↘↗	750
19 XII	↕↗	Ю	ПТ	+	↘↗	756—752
1938						
18—19 I	↕	Р	Т	—	↑	752—755
29—30 I	↕	Р	Т	—	↑	746—754
6 III	↕↗	Р	Т	—	↓	748
7 IV	↕	Р	Т	—	↓	744—742

Условные обозначения: ↕ — взрывное извержение; ↕↗ — смешанного типа; ↓ — понижающееся давление; ↑ — повышающееся; ↘↗ — максимальное; ↗↘ — минимальное; Р — резургентный пепел; Ю — ювенильный; П — пластичный; Т — твердый; ПТ — полупластичный.

Ограничиваясь пока только структурами пеплов, можно выделить периоды: а) начала и конца извержений, когда пеплы имели резургентный характер, а магма, следовательно, была более вязкая, и б) середины извержений, когда пеплы имели меняющийся характер — ювенильный, смешанный и, реже, резургентный, а магма менее вязкая. Затем выделяются отдельные извержения при низком или высоком атмосферном давлении, при которых пепел был резургентный или ювенильный, а магма в жерле, соответственно, вязкой или жидкой. Из пеплов 14 взрывов оказалось: 8 резургентных, 4 ювенильных и 2 смешанных.

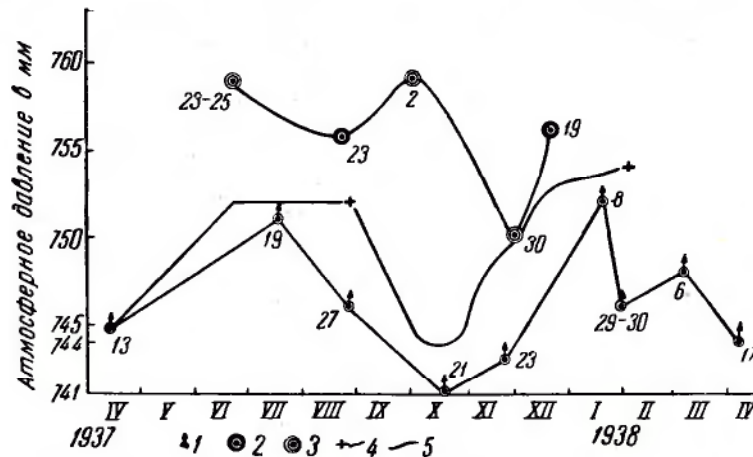
Среди извержений пеплов, которые как бы противоречат высказанным представлениям о приуроченности взрывов к низкому давлению, наиболее известным и характерным было взрывное извержение 23—24 августа 1937 г.

Это извержение происходило при сплошной облачности (характер извержений наблюдался со склонов вулкана (см. описание выше).

Давление было высоким. Сначала последовали эксплозии пепла, затем излияние лавы (извержение смешанного типа). Пепел был выброшен в полупластическом состоянии и относился к ювенильному типу.

Такие же пеплы и при подобных же условиях выброшены были 24—25 июня и, предположительно, 30 сентября 1937 г.

Из этого следует, что в периоды, когда магма находилась в пластическом состоянии, эксплозии, сопровождавшиеся аэффузиями, происходили преимущественно при высоком атмосферном давлении; при твердом же состоянии магмы, т. е. когда она была покрыта твердой коркой, эксплозии возникали при низком давлении. Абсолютное давление колебалось в следующих пределах: при выбросах резур-



Фиг. 45. Атмосферное давление и типы пеплов. 1 — момент образования резургентных пеплов; 2 — момент образования полупластических пеплов; 3 — момент образования пластических пеплов; 4 — кривая излияния лавы; 5 — кривая атмосферного давления.

гентных пеплов — от 742 до 760 мм (смешанных — от 741 и 746 до 752 мм), полупластических — от 752 до 756 мм и пластических — от 750 до 758 мм. Таким образом, наметился естественный ряд эксплозий резургентных — полупластических — пластических, соединяющихся с аэффузиями. Этот ряд генетически связан с увеличивающимся атмосферным давлением (фиг. 45).

Анализ приведенных данных по камчатским вулканам приводит нас к убеждению, что между атмосферой и магмой вулканического очага или лавовой колонной установилось некоторое равновесие и что поэтому колебания атмосферного давления (среднего значения для Камчатской области) оказывают влияние на уровень магмы в колонне, с одной стороны, и на высоту и количество газообразных и рыхлых продуктов — с другой. Понижение атмосферного давления способствует выделению летучих компонентов. Вместе с тем, совпадающее с этим увеличение влажности воздуха (облака на вершине) уменьшает возможность непрерывного выделения паров воды из магмы. Поэтому в такие периоды происходят прерывистые, частые, но низкие, не пробивающие облачных шапок, выбросы газообразных продуктов. После же рассеяния облаков следуют частые и высокие выбросы.

С увеличением давления и сухости атмосферы увеличивается высота выделений, вероятно, в связи с тем, что газы очага, встречая все возрастающую трудность в преодолении внешнего давления и поэтому

скапливаясь под лавовой коркой, дают более мощные взрывы. По мере усиления взрывов все больше и больше выбрасывается частичек магмы и лавы (пеплы и пески). Но при этом газы выделяются в атмосферу в меньшем количестве и, следовательно, сильнее насыщают магму, придавая ей больше напряженности, подвижности и готовности к подъему и излиянию. Излияние ее происходит тогда, когда начинает понижаться атмосферное давление (сингулярная точка); в этот момент внутреннее давление начинает превышать внешнее, и магма поднимается и изливается на дневную поверхность.

Еще ярче выступает роль атмосферы при учете регионального ее действия на литосферу. Облегчение нагрузки атмосферы, а вслед за этим и литосферы на магматический очаг приводит к расширению магмы и связанному с этим усилению газовыделения. Плотность магмы, а следовательно и сцепление частиц, становятся меньшими, и дезинтеграция осуществляется легче. С пепловыми эксплозиями часто сочетаются землетрясения, которые, несомненно, вызываются одной и той же причиной — уменьшением нагрузки.

При высоком атмосферном давлении, под действием тяжелой атмосферной шапки на литосферу, а затем и на магму, происходит, наоборот, уплотнение магмы и сильное насыщение ее газами. Подъему и излиянию лавы на дневную поверхность способствует такое «выдавливание» ее блоками литосферы по трещинам.

В эффузивных процессах мы склонны большее значение приписывать локальному взаимодействию жидкой фазы с газообразной в лавовой колонне, чем региональному воздействию атмосферы на литосферу, а затем и на магму. Может быть, в последнем случае распределение атмосферных нагрузок на земной коре сложное, в связи с чем подобного рода изменение («вдавливание») не всегда сказывалось на магме. Наоборот, всякое местное изменение атмосферного давления сразу же непосредственно отражалось на состоянии магматического очага, и только в случае застывания магмы и образования в канале твердой корки это влияние ослаблялось. Следовательно, тип большинства извержений обуславливался атмосферными фактами, а иногда они были всего лишь причиной начала извержения.

По поводу метеорологических причин землетрясений и вулканических явлений образно писал Киоджи Сюэхиро (1935): «Как незаряженное ружье не может выстрелить лишь благодаря спуску курка, так и одни метеорологические причины не способны вызвать землетрясения в напряженной земной коре или нарушить равновесие квази-плотной магмы».

Согласно Рекку (1936) при санторинском извержении 1925—1926 гг. некоторая зависимость проявлялась в том, что при повышении атмосферного давления вулканическая активность усиливалась. Интересен также установленный К. И. Гамовым (1910) факт внезапного и быстрого выделения гремучего газа, сопровождавшегося микросейсмическими колебаниями почвы, при понижении атмосферного давления в определенные часы дня. Особенно это характерно для тех мест, где напластования были нарушены и имелись сдвиги, сбросы, изломы, складки и т. п.

Таким образом, в заключение можно сказать, что как только атмосферное давление сыграло свою роль и «курок был спущен», тотчас же происходила разрядка всей накопившейся для извержения энергии. После исчерпания же этой энергии она снова накоплялась, и с новым «спуском курка» под влиянием изменения атмосферного давления или какого-нибудь другого фактора — землетрясения, притяжения луны, солнца и пр. — начиналось новое извержение. Так про-

должалось до полного исчерпания эруптивной энергии очага в пределах данного вулканического цикла.

Акустические явления. Вулканические взрывы в периоды извержений часто сопровождались звуковыми эффектами — грохотом и разными шумами. Когда вулкан был закрыт от нас тучами и деятельность его, следовательно, не была видна, по грохоту можно было судить о тех взрывах, которые происходили в вулкане. Но этот способ регистрации взрывов не мог дать исчерпывающего представления о них: не все звуковые эффекты были слышны с одного и того же места, так как звуковые волны прихотливо распространяются в зависимости от среды (атмосферы).

Грохот от взрывов в непосредственной близости от кратера был слышен всегда, в отдельных же местах значительно реже. Так, 20 июля 1937 г. во время нашего пребывания на кратере грохот раздавался после каждого выброса через 20—30 сек., а в Ключах его совершенно не было слышно; 19 июля на склонах вулкана (3600 м) мощный грохот был слышен часто, а в Ключах — реже и слабее; 17 июля в 7 ч. 45. м. — 8 час. грохот слышали в 11 км на север от кратера на высоте 1743 м, а в 4 км — на высоте 2500 м, в 32 км, в долине р. Камчатки (с. Ключи), его не было слышно; 6 июля, напротив, грохот был слышен во всех этих пунктах. 5 июля в 20 км на север грохот был слышен, в 32 км — нет; 2 октября грохот раздавался в 32 км (Ключи) в течение всего дня, а наиболее сильные раскаты — в 18 ч. 10 м. и 18 ч. 43 м. — доносились даже за 80 км (в окрестностях вулкана Шевелуч). 18 января 1938 г. в северной части вулкана грохот был слышен, в южной части — нет. Из этого перечня некоторых характерных случаев видно, насколько прихотливо было распространение грохота.

Постараемся проследить связь грохота с некоторыми атмосферными и другими явлениями. Грохот в большинстве случаев был слышен в Ключах при облачной и пасмурной погоде. Подмечено было (1, 23 и 27 августа 1937 г.), как после грохота над центральным жерлом появлялось огненно-красное освещение. Наоборот, 5 декабря раньше появилось зарево, а через 5 мин. раздался глухой раскат. 3 сентября в 10 ч. 30 м, после грохота последовал выброс столба черного дыма. Эти явления наблюдались со станции в Ключах. Со склонов конуса 30 апреля 1937 г. было отмечено, что наиболее сильный грохот слышен был непосредственно перед выбросами паров.

Электрические разряды наблюдались нами очень редко. 29 сентября 1937 г. в газообразных выделениях вулкана были видны молнии, но грохота в это время в долине р. Камчатки не было слышно. Осенью того же года жители с. Козыревского наблюдали над Ключевским вулканом молнии. Из Ключей и при подъеме к кратеру молний замечено не было.

Выше мы указывали на хорошую слышимость грохота в пасмурные дни. За отсутствием исчерпывающих данных по этому вопросу можно сослаться на указание В. Н. Оболенского (1939), что «дождь, снег и град не препятствуют распространению звука». Но, повидимому, на распространение звука влияет состав атмосферы. Указания Б. Э. Криса (1940) на приращение скорости звука на 0.05 м/сек. при содержании 0.03% CO_2 в открытом море обязывают нас не пренебрегать и малыми количествами газов в атмосфере окрестностей вулкана, тем более, что около кратера от постоянно выделяющихся вулканических газов состав атмосферы существенно меняется. Так, например, во время извержения 23—25 апреля в Ключах запах серы чувствовали

многие. Присутствие сернистых газов могло оказать влияние на скорость распространения звука.

Из сказанного видно, насколько сложно определить по звукам истинное количество взрывов и учесть все явления на кратере, в частности и эксплозии. Однако, собрав все сведения из окрестностей Ключевского вулкана, мы учли, повидимому, подавляющее большинство разбираемых вулканических явлений, за исключением, быть может, очень немногих.

В отношении распространения звуковых волн от вулканических взрывов имеются исследования Фудживара (Чиби́сов, 1940) над вулканами Азама и Бандай. Он задавался целью объяснить образование зон слышимости, вулкан же был для него всего лишь источником звуков. На основании наблюдений над звуковыми явлениями, сопровождавшими извержения Азама в период его интенсивной деятельности с 7 декабря 1909 г. по 22 февраля 1912 г., а также дополнительных материалов о звуковых эффектах во время деятельности того же вулкана с 14 декабря 1912 г. по 6 ноября 1913 г. и данных о слышимости мощной звуковой волны при извержении вулкана Бандай 15 июля 1888 г., Фудживара сумел заполнить имевшийся в то время существенный пробел в наблюдениях и в попытках объяснить образование зон слышимости. Он установил, что появление аномальных зон слышимости вызывается наличием встречных воздушных течений в верхних слоях атмосферы. Он искал зависимости распространения звуковых волн от температуры и ветра в атмосфере (подвижной атмосфере). Возникновение многократной слышимости Фудживара объяснил наличием разрыва в распределении скорости ветра по высоте.

Эти данные были углублены и дополнены рядом исследований. В последней работе Чиби́сова (1940) поставлена обратная задача по сравнению с теми, которые преследовались до того времени. Основываясь на данных о скорости и характере распределения звуковых волн, Чиби́сов пытается подойти к вопросу о состоянии атмосферы.

Перед нами стоит задача: по данным наблюдений над звуками составить себе представление о деятельности вулкана, — задача, отличная от предыдущих двух, но, как мы могли убедиться, разрешимая при помощи тех знаний, которые могут быть получены в результате решения первых двух задач.

III. ЗАВИСИМОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ЛУНЫ И АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

Извержения при перигее и апогее луны. Проблема зависимости явлений на земле от луны и солнца (фиг. 46) и, в частности, влияние стояния луны на извержения вулканов интересовали многих исследователей. Чтобы осветить последний вопрос в отношении Ключевского вулкана, на диаграмму его активности были нанесены нами моменты прохождения и стояния луны в перигее и апогее. Данные эти таковы (табл. 8):

Еще до начала извержений, с I.I по 31.III 1937 г., устанавливается совпадение повышенной деятельности вулкана с определенным состоянием луны: 22.I, 16.II и 15.III — луна в перигее; 23.I, 17.II и 15.III — происходят эксплозии; 7.I, 3.II и 3.III — луна в апогее, а 10.I, 6 и 7.II и 10.III — происходят эксплозии. Следовательно, в первом случае мы имеем совпадение или запаздывание эксплозий на 1 день, во втором — запаздывание эксплозий на 3 и 7 дней.

Влияние стояния луны на деятельность Ключевского вулкана

Стояние луны	Деятельность вулкана
Луна в апогее	
1937	
31 III	Спустя 2—3 дня — начало извержений 26, 28, 30 IV—эксплозии С 26 по 28 V—пепловые эксплозии 23 VI—эксплозии 19 VII—эксплозии, а 20-го — эффузия 16 VIII—излияние лавы 12 IX—эффузивно-эксплозивное извержение Спокойное состояние вулкана 6 XI начались эксплозии и продолжались до 8 XI 5 XII началось эксплозивно-эффузивное извержение, продолжавшееся до 8 XII 30—31—сильные эксплозии пепла
27 IV	
24 V	
21 VI	
18 VII	
15 VIII	
12 IX	
10 X	
6 XI	
4 XII	
31 XII	
1	
27 I	27 I нет ясных проявлений извержения, только слышен грохот вулкана
Луна в перигее	
1937	
12 IV	13 IV—эксплозивное извержение 10 и 11 V—первая эффузия 6 и 9 VI—эффузивно-эксплозивные извержения 5—6 VII—эксплозивное (бомбовое) извержение 3—4 VIII—эффузивное извержение Нормальное состояние вулкана 21, 22 X—эксплозивное извержение 20, 21 XI—грохот вулкана (эксплозии пепла?) Спокойное состояние, только через 1—1.5 суток эксплозивно-извержение
11 V	
8 VI	
6 VII	
3 VIII	
29 VIII и 24 IX	
22 X	
19 XI	
17 XII	
1938	
15—17 I	Спокойное состояние
18. I	Эксплозивное извержение
11 III	Усиление газообразных выделений
28 VI	То же

В периоды извержений совершенно точные совпадения были только 12.IX и 6.XI. Остальные извержения происходили с запозданием обычно на 1—2 дня как к перигею, так и к апогею. Всего совпадений насчитывается 13, из них 6 с апогеем и 7 с перигеем. К апогею приурочены чаще эксплозии, а к перигею — эффузии.

Тринадцать извержений, происходивших между перигеем и апогеем и, повидному, вызванных причинами другого рода, приводятся в табл. 9.

Как видно, 9 извержений приурочены к минимальному или максимальному атмосферному давлению. Часть из первой группы (луна

Таблица 9

Дата между перигеем и апогеем	Деятельность вулкана	Возможные причины
1937		
20 и 23 IV	Эксплозивные извержения	—
12 и 15 VII	То же	Соответствуют минимальному давлению атмосферы
26 VII	Прорыв паразитических кратеров на западном склоне с излияниями лавы	Экзогенных причин нет, возможны эндогенные тектонические
2—3 X	Эффузивно-эксплозивное извержение	Возможно влияние атмосферного давления
13—14 X	Эксплозивно-эффузивное (сильное) извержение	Замечательные совпадение с высоким максимумом
29 X	Эксплозивное извержение	То же
2—3 XI	Эксплозии	—
14—15 XI	Эффузивное (сильное) извержение	Совпадает с максимумом
23—25 XI	Эксплозивное извержение	Совпадает с минимумом
30 XI—I XII	То же	—
8 XII	Эксплозивно-эффузивное извержение	—
11—12 XII	Эффузивное извержение	Совпадает с максимумом

в апогее или в перигее) обнаруживает одновременное совпадение как с фазами луны, так и с атмосферным давлением. Для трех извержений не устанавливается никакой связи. Извержение 26.VII, вероятно, может быть объяснено тектоническими силами. Извержение 2—3.XI осталось с этой точки зрения совершенно невыясненным.

В январе и феврале 1938 г. происходили частые, ни к чему не приуроченные извержения. Точно так же совпадений не видно и в период редких заключительных эксплозий, за исключением вспышки активности 28.VI 1938 г., приуроченной к появлению солнечных пятен (см. ниже).

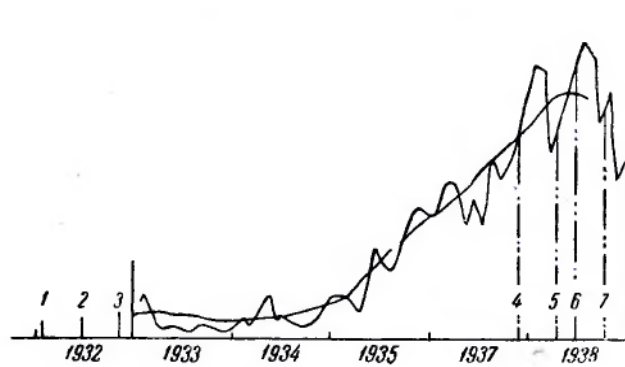
Активность вулканическая и солнечная. Если мы обратимся к таблицам солнечной активности, печатаемым в ежемесячном «Бюллетене Комиссии по изучению солнца» Академии Наук СССР (1937, 1938) и в «Astronomische Mitteilungen» (1938), то увидим приуроченность к пятнам следующих сильных извержений (незначительные извержения опускаются): извержения 19—20.VII, 27—28.VIII, 14.XI 1937 г., 6.II 1938 г. приурочены к группам пятен большой площади: 9.VI, 12.IX, 13.X, 19.XII, 30.XII 1938 г. — к группам пятен средней площади; 26.VII, 23—24.VIII, 21.X, 5.XII, 8.XII 1938 г. — к пятнам малой площади; извержения 2.X, 28.X и 30.XI 1938 г. совершенно не приурочены к пятнам.

Хотя мы не рассматриваем извержений Авачинского вулкана в 1938 г., однако нельзя пройти мимо факта поразительной приуроченности к солнечным пятнам всех этих извержений. На диаграмме (фиг. 46), характеризующей солнечную активность 1933—1937 гг. и приуроченность к ней извержений Ключевского вулкана, мы видим, что извержения в 1932 г. связаны с минимумом, а в 1937 г. — с максимумом солнечных пятен.

IV. ЭНЕРГИЯ ОЧАГА И ЗАВИСИМОСТЬ ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ СИЛ

В разные периоды деятельности вулкана происходили различные выделения продуктов извержения, отличившиеся друг от друга как по качеству, так и по характеру извержения (например, по скорости выделения, их частоте и т. д.).

Газообразные выделения. В период с октября 1936 г. по апрель 1937 г. промежутки между выбросами газа были от 2 до 10 мин.: 9 ноября — 2 мин., 11 ноября — 8—9 мин., 21 ноября и 6 февраля — 10 мин. В периоды извержений в 1937 и 1938 гг. наблюдались промежутки от 2 до 10—15 сек., реже до 20—30 мин. (см. ниже). После



Фиг. 46. Кривая солнечной активности и извержения Ключевского вулкана.

1, 2, 3 — прорыв Киргурича, Туяла и Биокось; 4 — освещение над кратером 4 ноября 1936 г.; 5 — начало извержений; 6, 7 — максимумы в вулканической деятельности.

окончания извержений пульсирующие выбросы происходили менее часто, за исключением 12 и 15 июля 1938 г., когда выбросы газообразных продуктов следовали друг за другом примерно через 30 сек. и скорость их была большей.

Бомбовые выбросы. В активные периоды выбросы бомб следовали с промежутками в 20—30 сек. Выбросы с такой частотой обычно назывались «непрерывными». Бывали выбросы через 1 мин., например 12 января 1938 г. Удивительно правильные выбросы с 15-минутными промежутками наблюдались 19 января 1938 г.

Разные ритмичные выбросы. Ритмичные выбросы происходили не так часто. Сюда относятся только что упомянутые 15-минутные эксплозии бомб 19 января 1938 г. и 5-минутные, наблюдавшиеся Троцким (1937) 7, 9, 10, 12 и 13 августа 1935 г.

К менее достоверным по правильности промежутков (выбросы не всегда точно фиксировались нами) относятся: 2-минутные выбросы 9 ноября 1936 г.; 5-минутные серые выбросы из восточного жерла, 10—15-минутные черные выбросы и 10-минутные бомбовые выбросы 10 июня 1937 г.; 1-часовые эксплозии Билюкая 10 июля 1938 г.; 15—20-минутные пульсации паров 20 июня; 10—15-минутные выбросы восточного жерла 2 августа; 10—20-минутные «огненные вспышки» 8 августа 1937 г.

Извержения. Между извержениями нами наблюдались промежутки от 3 до 18 дней, причем между эксплозивными извержениями

они были более короткими. Наиболее правильные промежутки между извержениями составляли 10 дней; таких случаев насчитывается 16 из общего числа 42. В Бюллетене № 5 (Меняйлов и Набоко, 1939 а, стр. 13) было указано, что в сентябре—декабре 1937 г. извержения во время кульминации повторялись через 4—9 дней, а после 14 октября стали более редкими, с промежутками в 10—15 дней. Эта в общем правильная характеристика охватывала ярко выраженные извержения. При окончательном анализе, с получением дополнительных сведений, деятельность вулкана могла быть пополнена еще 7 извержениями: 2—3.XI, 6 и 8.XI, 23—25.XI. При учете новых данных оказывается, что извержения в кульминационный период происходили много реже, чем в период преобладания эксплозий. В период же редких эксплозий пароксизмы становятся совсем редкими, они происходят с промежутками в 15—24 дня. Средние промежутки во время извержений равны примерно 8 дням. После прорыва побочных кратеров 1938 г. промежутки удлинились до 12 дней. В период относительного покоя с 12 мая 1938 г. средние промежутки между вспышками активности (выбросы паров воды) равны 5—6 дням, т. е. они близки к промежуткам в период с 31 октября 1936 г. по 17 февраля 1937 г.

Не надо, конечно, упускать из виду, что все это — промежутки между не вполне сравнимыми явлениями: в одних случаях между извержениями, в других — между эксплозиями или пароксизмами.

Из всего этого можно сделать заключение, что извержения Ключевского вулкана следовали друг за другом в среднем через 8 дней.

Ускорение срока наступления извержений (преимущественно эксплозивных) наблюдались на 5 и даже 7 дней, а замедление срока (преимущественно эффузивных) — на 1—2 дня.

Для санторинского извержения 1925—1926 гг. выделяются «волны» повышенной активности длительностью в 3—7 дней. У нас они менее постоянны, но все же характерны «вспышки» активности, следующие друг за другом иногда уже через 1—2 дня. Это различие можно, по-видимому, удовлетворительно объяснить разницей в вязкости магмы рассматриваемых вулканов: базальтовая магма Ключевского вулкана имеет меньшую вязкость, чем андезитовая лава Санторина, и поэтому в ней подобные ускорения извержений под влиянием каких-либо сил вполне естественны.

Затишья перед извержениями и после них. Непосредственно перед эффузивными извержениями и значительное время после них вулкан находился в совершенном бездействии. Состояние покоя после извержения легко может быть объяснено временным истощением очага. Но совершенно такое же состояние покоя перед извержением этим объяснить нельзя, и мы вынуждены, следовательно, искать другую, общую причину спокойного состояния как до, так и после извержения. Очевидно, магма в канале во время извержения находится в особом эруптивном состоянии, отличном от того, в котором она находится до и после извержения. Моменты же перехода из спокойного состояния (газо- и паровыделения) в эруптивное состояние и обратно, как видим, и качественно одинаковы. В канале в эти моменты происходят, вероятно, перед извержением подъем и после извержения — опускание магмы.

Циклы. Прежде чем говорить о промежутках между интенсивной деятельностью, следует остановиться на терминологии, применяемой к ряду извержений, отдельным периодам и в целом ко всей деятельности вулкана, включающей одинаковые по характеру и силе этапы.

По мере формирования наших представлений о вулканических явлениях, изменялась и наша терминология.¹

Условимся под циклом понимать деятельность вулкана, включающую как относительный покой или «период относительного покоя», так и ряд извержений. С окончанием извержений вулкан возвращается к новому периоду относительного покоя и затем снова к извержениям. Таким образом, замыкается один цикл и начинается следующий. Отдельные циклы, как увидим ниже, не равны друг другу ни по силе, ни по характеру деятельности, ни по времени. Они сходны лишь в общих чертах, но в деталях каждый из них протекает своеобразно. «Фазу» мы совершенно исключаем из нашей терминологии, поскольку этот термин был применен в двух разных значениях: сначала (Бюлл. № 5, 1939 г.) — для всей эруптивной деятельности, а затем (Бюлл. № 6, 1939 г.) — только для ее частей (теперь — периодов).

В настоящей работе весь цикл делится на периоды, названные по характеру деятельности, например «период редких эксплозий», «период преобладания эффузий» и т. п.

Между извержениями Ключевского вулкана, или, что то же самое, от начала одного цикла до начала следующего, проходит несколько лет.

Из сводки извержений вулканов Камчатки В. С. Кулакова (1936 б) видно, что Ключевской вулкан давал извержения через разные промежутки времени — от 1 года до 11 лет; значатся даже промежутки в 22 года (возможно, что в последнем случае были пропуски извержений). К сожалению, у нас очень мало сведений о длительности, интенсивности и типе прошлых извержений. Только некоторые из них, наиболее известные, могут быть предметом сравнений. В XVIII в. после 3-летнего извержения 1727—1731 гг. следующее извержение наступило через 6 лет; после грандиознейшего извержения 1829 г. следующее наступило через 11 лет; после извержения 1929 г. сильная эксплозия и извержения побочных кратеров последовали через 2—3 года, а последнее извержение 1937—1938 гг. имело место после извержений 1931—1932 гг. через 5 лет и после извержения 1929 г. — через 8 лет.

На основе этих данных можно уже судить о некоторой средней продолжительности цикла или о средних промежутках между сильными извержениями продолжительностью в 5—8 и даже 11 лет. Но прежде чем перейти к окончательному выводу о длительности циклов, рассмотрим и сравним все наиболее известные исторические извержения.

Исторические извержения. Сведения об извержениях Ключевского вулкана имеются в литературе, начиная с 1698 г. В. С. Кулаковым (1936 б) они были собраны и сведены в таблицу, в которой указаны даты и характер извержений. Ниже приводится перечень их по годам.

В 1698 г. — одно извержение в период между 1702 и 1711 гг. (дата точно не известна). С 1727 по 1731 г. — непрерывные извержения. Следующие — в 1737 (1739),² 1740, 1762, 1767, 1770, 1785, 1788, 1789, 1790, 1792 (1795), 1807, 1810, 1813, 1819, 1821, 1825, 1829, 1840, 1841,

¹ Об извержениях Ключевского вулкана было сказано: в Бюлл. № 4 на стр. 3 — «произошел ряд извержений», в Бюлл. № 6 на стр. 16 и 17 — «цикл извержений», причем на стр. 19 этот цикл, в свою очередь, подразделяется на фазы. Кроме того, на стр. 17 говорится о «периодах извержения» и «периодах действия».

² В скобках приводятся извержения, упоминаемые Pettey (1863), по данным Палласа и Постельса.

1848, 1852, 1853, 1854, 1877, 1879, 1896, 1898,¹ 1909, 1910, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1920, 1921, 1923, 1925, 1929, 1931, 1935.

В периоды деятельности кроме излияния лавы почти всегда происходило несколько взрывов в год. Песок и пепел ложились в окрестностях нередко радиусом в 500 км. Новые паразитные кратеры образовались в 1932 г. — Киргурич и Туйла, в 1932—1933 гг. — Биокось.

Рассмотрим некоторые извержения с точки зрения характера и типа их и сравним их с извержениями 1937—1938 гг.

Извержение 1737—1731 гг. было наиболее длительным из известных 51 извержений Ключевского вулкана, зарегистрированных Кулаковым. По полученным С. Крашенинниковым (1786) данным, Ключевская сопка тогда «горела три года сряду».

Извержение 1737 г., по данным Крашенинникова, находившегося тогда на Камчатке, началось 25 сентября и продолжалось с большой силой с неделю. Это был ужасный «пожар», вся гора казалась раскаленным камнем. «Пламя» было видно сквозь расщелины и устремлялось вниз как огненная река, с ужасным шумом. В горе слышен был гром и треск, от которого дрожали все ближние места. Конец «пожара» был обыкновенный, т. е. закончился извержением множества пепла. Извержение было интенсивнее, чем в 1727—1731 гг. Судя по красочному описанию Крашенинникова, оно в начале было стромболианского типа (сильное освещение, лавовые потоки и трещинные излияния), а в конце вулканского типа (пепловые взрывы).

Извержение 1829 г. наблюдалось и детально описано Эрманом (Ermann, 1848). Оно очень напоминает извержение 1937—1938 гг., ввиду чего мы даем сравнение их в специальной таблице (табл. 10).

Периоды между извержениями в 8—36 лет

Гипотетические	Фактически	
1729,3	1729	
1737,7	1737,7	
1796,2	1796	
1812,9	—	
1829,6	1329	
1929	1929	Вершинное излияние
1931	—	Пепловое извержение
1932	—	Побочные излияния
—	1937	Вершинное излияние

Из этих сопоставлений мы видим, что извержение 1829 г. весьма похоже на извержение 1937—1938 гг. Неизвестной осталась только продолжительность извержения 1829 г., так как вскоре же после своих наблюдений Эрман покинул Камчатку, оставив вулкан в полном разгаре извержений.

Остановимся подробнее на вопросе о трещинах. В Бюллетене № 5 нами было высказано предположение (Меняйлов и Набоко, 1939 а), что «на западном склоне трещина существует давно и открывается периодически». В подстрочном примечании редактор Бюллетеня сделал по поводу этого предположения такое замечание: «Возможно, авторы правы, что открывшаяся в 1937 г. трещина является той самой трещиной, о которой пишет Крашенинников, но возможно, что это — новая трещина, образовавшаяся по другому направлению». Затем, по следую-

¹ В работе Кулакова, Дитерикса и Святловского (1941) указано: 1896—1899 (ежегодные извержения).

Таблица 10

Сопоставление извержений Ключевского вулкана в 1829 и 1937—1938 гг.

1829 г. (10—13 X)	1937—1938 гг.
<p>Высота потока до 2 м. Лава изливалась 5 дней непрерывно на 3 стороны, шириной 3120 м, на протяжении нескольких миль. Самая светлая полоса была на ЗСЗ склоне</p> <p>Поток разделялся и тек на запад и на север</p> <p>Источники лавы и бомб: 1) кратеры на высоте 4300 м, 2) поблизости, несколько ниже кратера, и 3) посредине между этими двумя</p> <p>Высота полета бомб — 300 м « выделений пара — 600 м»</p> <p>Формы: «волны лавы», раскаленный каскад из кратера и трещин горы, от краев потока срывались куски лавы, в газообразных выделениях бурные вихревые движения</p> <p>Громыхающий шум</p> <p>Пепел разносился на 30—40 миль, слой толщиной в 1 дюйм</p> <p>Стекло пепла светлозеленое</p> <p>Стекло пепла не магнитно, после нагревания магнитно. Основная масса лавы магнитна как до, так и после нагревания</p> <p>В 1828 г. вулкан был в совершеннейшем покое</p> <p>В виде взгонов наблюдалась сера</p> <p>«Эта система в высоте взлетов бомб была такой правильной, с промежутками в несколько секунд, что, казалось, весь конус, покрытый искрами, обладал пульсирующим движением» (Erzmann, 1848)</p>	<p>Большая трещина; излияние на ЗСЗ 310°</p> <p>Потоки на восток, запад, север, юго-восток</p> <p>Паразитические кратеры на западном склоне: 1) около кратера — Камули, 2) 3500 м — Радист и 3) 2700—2800 м — Перевальный</p> <p>Высота полета бомб 150—800 м «выделений пара до 8000»</p> <p>Каскады на западном склоне; из верхних частей (Камули и отчасти Радиста) отрывались отдельные куски при выбросах</p> <p>Шум: грохот, раскаты грохота и т. п.</p> <p>Пепел разносился на 250—300 км, слой толщиной до 1 см</p> <p>Стекло зеленое, черное, бурое</p> <p>Обращает внимание магнитность пепла 23—24 VIII 1937 г.¹</p> <p>Периоды покоя наблюдались главным образом в 1935 г.</p> <p>Серы непосредственно в верхних кратерах не встречено</p> <p>Картина, совершенно аналогичная тому, что наблюдалось 12 октября 1937 г., а также 19 января 1938 г., с промежутками в 15 мин.</p>

щему нашему предположению о том, что «сопки Плоская, Средняя и Ключевская расположены в зоне того же направления», было сделано редактором следующее примечание: «С авторами согласиться нельзя хотя бы потому, что здесь мы имеем целый веер направлений, а не определенную зону».

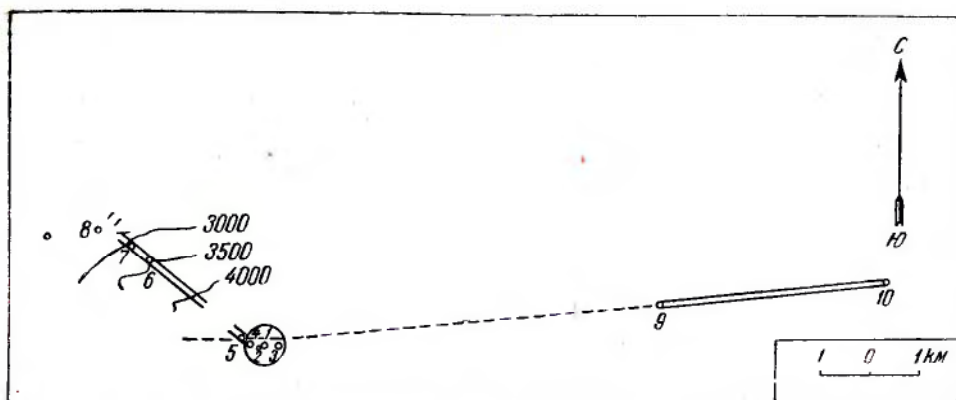
Первое наше предположение было основано на упоминаниях еще Крашенинникова (1786, стр. 175), второе же — на следующих фактических данных.

В вулкане Шевелуч, по наблюдениям автора, несмотря на существование трещин нескольких направлений, главную роль при образовании кальдеры сыграли трещины ССВ 30° и ЗСЗ 290—300° направлений, а при образовании паразитических кратеров — тоже трещины ССВ 30° направления. Кроме того, на топографической карте Ключевской группы вулканов мы обнаруживаем, что у сбросов вулкана Камень и у кратерного обрушения Средней сопки главные сбросовые зоны имеют опять-таки почти широтное направление. Расположение Ключевской и Плоской сопок тоже широтное. Средняя сопка, может быть, не укладывается

¹О магнитных свойствах лав. см. специальное исследование Турцева и Набоко (1941).

в эту зону. В. И. Влодавца (1940) соединяет ее меридиальной линией с вулканами-сопками Камень — Безымянная — Зимица.

Заслужой Влодавца (1940) является выделение ряда радиальных трещин у Ключевской сопки, но трудно согласиться с его отрицанием существования основных двух камчатских направлений — ССВ и ЗСЗ, несомненно проявляющихся и у Ключевского вулкана. В особенности ясно проявились они при извержении 1937—1938 гг. (фиг. 47), отчетливо выступают они и на топографической карте вулкана Камень в виде одного из ограничений обрушения. Взгляды Влодавца (1940, стр. 113), будто другие вулканы, в частности, — находящиеся к северо-западу от Шивелуча, расположены до известной степени хаотически, не увязы-



Фиг. 47. Схематический план расположения трещин, кратеров и жерл. — центральное; 2 — соседнее; 3 — восточное; 4 — западное; 5 — пониже Камули; 6 — Радист; 7 — промежуточное, кратковременное; 8 — Перевальный; 9 — Козей; 10 — Билокой.

ваются с действительностью. В результате исследований в Верхне-Еловском районе (Меняйлов и Набоко, в печати) выяснилось, что расположенные к северо-западу от Шивелуча потухшие вулканы Орловский, Кунфилок, Шероховатая, Кынынок, Юрточная и Лежитц как раз линейно следуют ССВ направлению.

На основании этих данных я придерживаюсь ранее высказанного (Меняйлов и Набоко, 1939 а) мнения о том, что проявление вулканических сил в 1937—1938 гг. происходило по линии, являющейся для Камчатки основным направлением трещин, «по которому чаще проявляются вулкано-тектонические силы» (Бюлл. № 5, 1939, стр. 13), т. е. по одному из двух направлений, установленных А. Н. Заварицким (1937).

Из сопоставления данных по извержениям 1829 и 1937—1938 гг. видно, что Эрман, как и мы, наблюдал действие на западном склоне трещины аналогичного направления. Он наблюдал «самую светлую полосу» на ЗСЗ склоне, но, не видя зияющей трещины, отвергал утверждение жителей о ее существовании. Однако действие ее Эрман описал вполне убедительно: на ней он указывает 3 кратера, расположенных выше, чем кратеры 1937 г., и там же «самые сильные полосы», т. е. потоки. Сравнивая, далее, это извержение с предыдущим, Эрман, на основании сообщений жителей Ключей о видимости их, утверждает, что извержения 1727—1731 гг. должны были происходить преимущественно на западной и юго-западной сторонах конуса, извержение же 1737 г. —

на северной или северо-западной. С этой точки зрения он уподобляет извержение 1829 г. извержению 1727—1731 гг.

Извержение 1841 г., по свидетельству К. Дитмара (1901), было сильным; после него несколько над вершиной вулкана наблюдались более или менее значительные облака пара. К таким извержениям у В. С. Кулакова (1936 б) добавлены еще извержения в 1840 и 1848 гг.

Извержения 1852—1854 гг., описанные Дитмаром (1901), проходили следующим образом. 19 марта 1852 г. над Ключевской сопкой показался сильный «огонь», а 29 марта началось извержение Семячика. 15 января 1853 г. вулкан выделял большие столбы паров, но «огня» еще не замечалось. 19 и 20 января были обильные облака пара и дыма. В феврале и начале марта над Ключевской был виден «огонь», проезжие наблюдали его и над Авачинской, а Семячик дал дождь пепла, распространившийся до с. Мильково. 4 и 5 августа Дитмар наблюдал, как из кратера Ключевского вулкана выделялись светлые массы пара и дыма; на конусе он заметил черные полосы длиной около 1000 м, принятые им за следы потока или трещину в вершине горы. Ночью 5 августа он видел «огонь» и слышал глухой грохот, раздававшийся через очень долгие, неправильные промежутки времени. В октябре деятельность возобновилась и начала быстро возрастать до тех пор, пока не выступили мощные потоки лавы в западном направлении к с. Козыревскому. Извержение продолжалось с меняющейся силой до ночи с 17 на 18 февраля 1854 г., когда «обрушился» с грохотом Шевелуч и началось его сильное извержение. В это самое время совершенно затих Ключевской вулкан, и только спустя несколько недель он начал опять спокойно куриться.

Извержение 1925—1926 гг. подробно описано А. Н. Заварицким (1931). Оно длилось более 9 месяцев: началось с весны (13 апреля) 1925 г. и продолжалось до июля 1926 г., а может быть и значительно дольше. Деятельность его выражалась в мощных выбросах пепла и бомб, дававших начало громадным потокам рыхлого материала. Такой поток был, например, 30 сентября. Его Заварицкий называет «сухой лавиной» (*avalanche sèche*). Поток лавы не наблюдалось. Судя по описанию, пепловые извержения 1925—1926 гг. аналогичны некоторым нашим взрывным извержениям (пепловым), а извержения 13 апреля и 30 сентября 1925 г.¹ сходны с бомбовыми взрывами 12 октября 1937 и 19 января 1938 г.

Извержение 1929 г., по данным П. Т. Новограбленова (1932а) и по устным сообщениям, продолжалось не менее полугода. С 11 июня по 9 июля были частые взрывы пепла и высокие столбы пара и дыма. Усиление деятельности чередовалось с ее ослаблением. У кратера виднелась черная кромка лавы. Зарева над кратером в это время не было. В июле вулкан гудел, а по вечерам над кратером появлялось зарево. В августе Ключевская сопка была спокойна: 13-го совершенно не дымила, 21-го спокойно дымила. По сообщению А. А. Крамкова, 24 декабря было значительное извержение. По данным Камчатского краеведческого общества (1930), «осенью и зимой изливались мощные потоки лавы по восточному склону». У нас нет вполне достаточных данных, относящихся к этому извержению, но те данные, которые здесь приведены, характеризуют тип извержения 1929 г. как смешанный.

Извержение в марте 1931 г. представляет собою взрывное (пепловое) извержение, происходившее в течение 3 дней. Пепел покрывал

¹ Можно добавить, что очевидцы в 1925 г. наблюдали над кратером молнии шаровой формы.

площадь в 12 тыс. м², а масса его составила 120 млн. м³ (Новограбленов, 1932а).

В 1932 г. произошел прорыв побочных кратеров — Туйлы, Киргурича и Биокося (Кулаков, 1936а; Кулаков, Святловский и Дитерикс, в печати). Масса лавы побочных кратеров исчисляется ими в 90 млн. м³.

Руководствуясь приведенными данными, можно высказать предположения о продолжительности наступившего нового цикла Ключевского вулкана и, следовательно, определить срок наступления новых извержений. Сопоставим наиболее хорошо известные и полно охарактеризованные извержения по их длительности и массе изверженного материала (табл. 11)

Таблица 11

Продолжительность и объем продуктов некоторых извержений

Годы извержений	Промежутки от предыдущего извержения, годы	Продолжительность извержения	Продолжительность цикла, годы	Объем изверженного материала, км ³
1727—1731	—	3—4 года	—	—
1737	6	1 неделя	6	—
1821	—	—	—	—
1829	8	—	8	3,5
1840—1841	11	—	11	—
1925	—	—	—	—
1929	4	Полгода	4,5	—
1931	—	3 дня	—	0,12
1932—1933	1	14,5 месяца	—	0,9
1937—1938	4	2 года	6	0,4

При учете продолжительности извержений, цикла и объема изверженного материала, перечисленных в таблице, можно высказать предположение, что новое извержение должно наступить не раньше, чем через 4 года и не позже чем через 8—11 лет.

Факторы, влияющие на продолжительность промежутков внутри одного цикла. Рассмотрим частоту отдельных извержений внутри цикла, в частности — во время извержений 1937—1938 гг.

Частота выбросов зависит от физического состояния магмы — ее вязкости, химического состава, насыщения газами и давления пара, затем от формы очага и канала, давления (тектонического и атмосферного) и, в частности, от соотношения внутреннего и внешнего давления.

Примерами различных по физическому состоянию выделений из близких жерл, разных по форме, могут служить извержения 10 и 20 июля 1937 г., когда из соседних жерл выбрасывались то пары воды, то дым с разной насыщенностью пеплом, то бомбы.

Иллюстрацией влияния вязкости на величину промежутков могут служить, с одной стороны, извержения 5 и 20 июля и отчасти 24 июня 1937 г., когда бомбы вылетали почти непрерывно, а с другой — извержение 19 января 1938 г., когда бомбы выбрасывались через 15 минут. Судя по составу пепла, магма в жерле в то время, к которому относятся первые три извержения, отличалась от магмы в более поздний период, к которому относится извержение 19 января, меньшим количеством воды и большим количеством железа в закисной форме

(преобладало зеленое стекло над бурым). Следовательно, магма в первый период была менее вязка, чем во второй (и тем более к концу его), лавовая корка образовывалась труднее, и взрывы происходили чаще. Наоборот, во второй период магма была более вязкой, лавовая корка образовывалась быстрее, и взрывы происходили реже, но были более мощными.

В этом отношении уместно было бы искать аналогий в области грязевого вулканизма. Если обратимся к вулкану Шуго (Кубань), то увидим, что в разных его жерлах происходит пульсирующее выделение с промежутками от 2—3 сек. до десятков минут. Это зависит, как утверждает Е. В. Кудряшев (1939), от расположения и формы кратеров и физического состояния изверженного материала (грязь, брекчия и т. п.). По данным же других авторов в грязевых вулканах на площади Керченского и Таманского полуостровов пульсирующее выделение газообразных углеводородов связано с обязательным сочетанием характерного комплекса пластичных и так называемых «компактных» пород. Таким образом, периоды действия грязевых вулканов самые различные, и, судя по имеющимся литературным данным, консистенция грязей, мне кажется, тоже различная.

В вулканах, и в частности в Ключевском, магма имеет более однородную консистенцию. Поэтому в магме можно искать определенную связь между жидкой и газообразной фазами. И действительно, газообразные взрывы происходили чаще каких-либо других, как это можно видеть из следующих сопоставлений (табл. 12):

Таблица 12

Промежутки между выбросами различного типа

Характер выбросов	Промежутки равномерные, мин.	Промежутки неравномерные, сек.
Пары воды	5 (1935 г.)	30 (15 июля 1938 г.)
Пепловые:		
Серые	5 (10 июня 1937 г., восточное жерло)	
Черные	10—15 (10 июня 1937 г., центральное жерло)	
Бомбовые	20 (кратер Билюкай) 10 (июнь 1937 г., центральное жерло) 15 (19 января 1938 г., центральное жерло)	20—30 (большинство извержений)
Лавовые (пульсации освещения)	10—20 (8 августа 1937 г., центральное жерло)	

Из данных таблицы видно, что более тяжелые продукты выделяются через большие промежутки времени. Следовательно, чем дольше застывает лавовая корка, тем больше скапливается газа и тем сильнее взрыв и выше подброс твердых продуктов (см. выше).

Частота извержений зависит от особенностей накопления энергии и ее разряджения. После большого извержения происходит очень большая потеря энергии и, следовательно, требуется больше времени для ее восполнения из глубины. Вольф (Wolff, 1938) высчитал для некоторых вулканов «степень упадка энергии очага и массу истощения». В зависи-

мости от этих величин можно было бы определить и паузу между извержениями. Но так как приток тепла из глубины и продолжающееся выделение его из вулкана (в виде паров) — два фактора непостоянные, то и определить точно эти промежутки или, иначе говоря, закономерности вулканических извержений Вольф считает невозможным.

Однако некоторую зависимость промежутков между выбросами от силы извержения Ключевского вулкана мы ясно видели выше, а именно: после слабых извержений (1925—1929 гг.) новые извержения наступают скорее, чем после сильных (1727—1731, 1737 и 1829 гг.).

V. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЛКАНОВ ЗЕМНОГО ШАРА В 1937—1938 гг.

На Камчатке за эти два года имели место извержения Ключевской сопки в 1937—1938 гг. и Авачинского вулкана в конце 1937 и в течение всего 1938 г. У Мутновского вулкана наблюдалось повышение активности (пепловые эксплозии) в 1938 г. У вулкана Плоский Толбачик сильная эксплозия пепла отмечена 2 марта 1937 г.¹

Кроме этого общего усиления активности пяти вулканов из 12—18 действующих на Камчатке, можно отметить несколько случаев сопряженности повышения активности некоторых из этих вулканов. Так, это ярко проявилось у Ключевского и Авачинского вулканов 6 марта и 20—21 апреля 1938 г. Оно было особенно показательным, поскольку повышение активности Ключевского и Авачинского вулканов произошло в период редких заключительных эксплозий. Вряд ли это были случайные совпадения.

В 1938 г. одновременно производились наблюдения над несколькими вулканами Камчатки, в частности, в июне, над Ключевским, Авачинским, Мутновским, Жупановским, Карымским и Шевелучем. В это время были подмечены следующие проявления усиленной активности.

У Ключевского вулкана обособилась деятельность двух жерл, и жерло в восточной или юго-восточной части кратера стало действовать более интенсивно, чем жерло в западной части. Такой характер деятельности и усиленной активности наблюдался 19, 20, 26, 27, 28 и 29 июня. В отрезок времени с 19 по 29 июня обнаружено, кроме того, некоторое усиление активности четырех южных вулканов; оно проявилось в следующем (см. также Бюлл. № 7).

20 июня в районе Карымского вулкана было вулканическое землетрясение и сильно действовал Авачинский вулкан. 22 июня интенсивно

¹ Я хотел бы обратить внимание на полученные сведения о проявлении активности Кроноцкой сопки. До сих пор считается недоказанным, действующая она или нет (Новограбленов, 1932а). Высказывалось мнение, что это потухший вулкан, но, по некоторым сведениям, сопка дымилась в ноябре 1922 г., а во время февральского землетрясения 1923 г. гудела, причем на вершине ее было видно «пламя». В 1938 г. топограф геодезической экспедиции А. А. Мессинг сообщил мне, что в 1937 г. летом он видел выделения из Кроноцкой сопки паров, образовавших столб. Он даже сфотографировал его, но фотографии не прислал.

Считаю необходимым привести здесь и устное сообщение об извержении 22 августа 1938 г. на полуострове Оннекотан. Капитан парохода «Селенга» А. И. Берс, проходя 4-м проливом Курильских островов, видел вулканическое извержение на указанном полуострове, на мысе Литль. 12 августа 1938 г., около 22 час., Берс вместе с третьим помощником наблюдал, как поднялся огненный («искристый») столб. Это зрелище, напоминавшее «горящее сено, искры которого развеяло ветром, но, конечно, более грандиозное», видно было в течение 5—7 минут, после чего пал туман, закрывший землю. Когда пароход подходил через 3 часа к мысу, туман рассеялся и ничего этого уже не было видно.

выделяли пары клубами Авачинский и Жупановский вулканы. 27 (и 23-го) июня «сильно» действовал Карымский вулкан, 28—29 июня «очень сильно» Жупановский вулкан и выделял клубы дыма Авачинский. Мутновский вулкан все это время выделял пары.

В отношении связи Мутновского вулкана с Авачинским были установлены следующие факты. Меньшую часть времени (с апреля по октябрь 1938 г.) характер деятельности обоих вулканов был однотипен, большую же часть времени они действовали не одинаково, а именно: либо Авачинский выделял пары, а Мутновский — клубы дыма (1, 12, 25.V; 8, 30.VII; 4, 12.VIII; 3, 5, 14, 18.IX), либо Авачинский вулкан выделял клубы газа, а Мутновский парил (9, 15, 20, 24.V; 6, 11, 20, 22, 28, 29.VI; 4, 6, 24.VII; 5, 6, 17, 22.VIII; 4, 11, 22, 29.IX). Более часто проявлялось второе состояние, поэтому сложилось представление, что в период извержений Авачинского вулкана усиление его активности бывало сопряжено с ослаблением ее у Мутновского. Обратные соотношения наблюдались реже.

По сводке вулканической деятельности на всем земном шаре, составленной Хантке (Hantke, 1939), в эруптивной деятельности в 1937 г. находилось 37 вулканов и в 1938 г. — 33 вулкана. Наибольшее количество извержений приходится на март—июль и октябрь—декабрь 1937 г. и на июль 1938 г. Следовательно, сроки начала интенсивной деятельности Ключевского вулкана и ряда других вулканов совпадают. В феврале 1938 г., после почти 2-месячного спокойствия многих вулканов, вновь начинается их эруптивная деятельность. У нас в это время произошел прорыв побочных кратеров.

Касаясь общей вулканической ситуации на земном шаре, не лишне указать и на высокую сейсмическую активность в эти годы. По месяцам землетрясения распределяются следующим образом:¹

1937 г. I—53, II—104, III—95, IV—87, V—101, VI—73, VII—110, VIII—100, IX—91, X—82, XI—99, XII—87.
1938 г. I—76, II—55, III—57, IV—77.

Какой-либо связи с сейсмической активностью констатировать не удастся. В отношении же Ключевского вулкана заметно, что общее направление кривых землетрясений и активности (в частности, высоты газообразных выделений) совпадает, а в кульминации 9 июня и 12 октября 1937 г. и при прорыве восточных кратеров 1938 г. кривые резко расходятся. Но, поскольку до сих пор обобщений сейсмических данных за эти годы нет, вопрос о связи и приуроченности вулканических и сейсмических явлений нами не решался.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

СОСТОЯНИЕ ОЧАГА

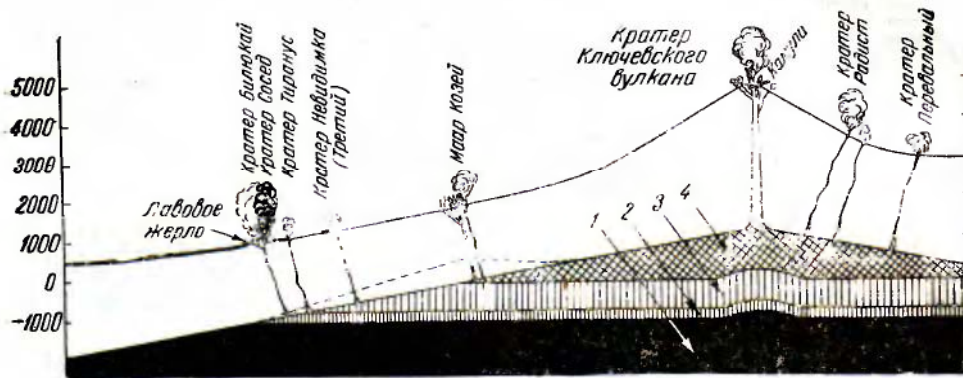
I. ФОРМА И СТРУКТУРА ОЧАГА И ВЫВОДНЫХ КАНАЛОВ

Форма магматического очага куполообразная (фиг. 48), возможно — слегка усложненная мелкими куполами; поэтому наряду с общей связью всех побочных кратеров могла существовать некоторая их зависимость (мелкие купола). Такое строение объясняется механизмом излияния лавы из слоев очага различной кислотности. Весь очаг имеет

¹ Бюлл. Сейсмол. ин-та АН СССР.

слоистое строение, что так хорошо прослежено по изменению кислотности лав из кратеров различных уровней (Набоко, 1946). Для этого слои должны выклиниваться к периферии, линии же раздела должны быть горизонтальными, а не концентрическими.¹

Мелкий купол для восточных кратеров объясняет обилие газообразных продуктов в группе маар Козей и в особенности силу взрыва в самом верхнем мааре. Под этим последним должна находиться вершина купола.



Фиг. 48. Схема строения вулканического очага и выводных каналов
1 — магма с содержанием SiO_2 — 50—51%; 2—51—51.5%; 3—51.5—53%; 4—53—54%;

Куполообразное строение рисуется из того, что, например, на Билюкае наиболее основные дифференциаты сменились кислыми. Это могло произойти благодаря притоку магмы из верхних слоев купола к нижнему кратеру. При этом уклон должен быть таким, чтобы при вязкости, характерной для базальтов, магма успела за несколько дней продвинуться из более высоких горизонтов к низким.

Позднее, когда уровень магмы выравнился и прекратился приток ее верхних слоев, изменение лав происходило по мере исчерпания верхних кислых горизонтов в сторону увеличения основности. Так же было и на западных кратерах, но менее резко, поскольку расстояние между кратерами здесь было меньше.

Пары воды, непрерывно выделявшиеся из канала вулкана, несомненно должны были играть активную роль в кристаллизационной дифференциации в очаге; при этом чем дольше длились периоды покоя, тем больше и глубже происходили изменения состава. В подтверждение этого мы можем указать на следующий факт. Несмотря на неуклонное понижение кислотности, в пеплах извержений 19 декабря 1937 г. и 6 марта 1938 г. оказалось несколько повышенное содержание SiO_2 и повышенные потери при прокаливании. Оказывается, промежутки покоя перед этими извержениями были более длительные, чем обычно. Так, перед извержением 19 декабря полное извержение произошло 5—8 декабря (11—12-го было сильное зарево, но излияние лавы было

¹ Если учесть топографическое распределение всех побочных кратеров Ключевского вулкана по данным В. И. Влодавца (1940), то оказывается, что для многих из них характерна приуроченность лав определенного состава к определенным высотам и расстоянию от главного канала, т. е. к определенным горизонтам очага той или иной кислотности и того или иного минералогического состава.

незначительное), т. е. за 12 дней против средних 8 дней (или 3—5 дней) для пепловых извержений. Извержение 6 марта последовало 15 дней спустя после предыдущего извержения.

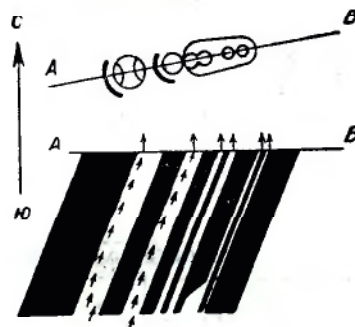
Вследствие постоянно повторяющейся перегруппировки компонентов в очаге не может быть резкой разницы между слоями различных дифференциатов. Несколько нарушается общая слоистая структура и под главным каналом, так как через него непрерывно проходят большие массы паров воды и газов.

Поскольку у нас наблюдалось очень большое количество кратеров (ясно выраженных побочных 15 и главных 3), раскинутых по горизонтали на 16 км, можно предположить, что очаг залегает не очень глубоко. Протяжение очага в широтном направлении условно можно считать равным 12 км (Билюкай и другие), а в северо-восточном — 25 км (см. карту, составленную В. И. Влодавцем, 1940, стр. 112). Далее, вероятно, очаг более круто уходит вглубь, так как побочные кратеры на большом расстоянии не встречаются.

Выводные каналы расположены наклонно к дневной поверхности (к уровню моря) — так, как это представлено на фиг. 49. Такое расположение подтверждается следующими фактами. Основное жерло Билюкай чаще всего выбрасывало бомбы наклонно в восточном направлении (Меняйлов и Набоко, 1939б, стр. 11).

Так же расположены и каналы маар группы Козей, судя по состоянию на 8 декабря 1938 г., когда при очень слабом проявлении деятельности свежевыпавший снег подтаивал у верхних (близких к Главному кратеру) частей двух воронок (фиг. 49), что могло иметь место только при довольно крутом положении канала и подьеме газообразных продуктов вдоль висячего бока. Среди западных кратеров наклон жерла отмечался только у Камули. Надо полагать, что наклон у него незначительный вследствие малой удаленности от центрального канала.

Расположение центрального и соседних с ним жерл Главного кратера было охарактеризовано при описании «взаимодействия жерл и фумарол». Центральное жерло и жерла Камули прямые, открытые, восточное же изгибается коленообразно на восток. Соседнее к центральному и, пожалуй, восточное по характеру активности и, следовательно, по форме напоминают гейзер.



Фиг. 49. Схема расположения подтаивающего снега около маар и выхода газов. Вверху — схематический план маар, внизу — вертикальный разрез каналов маар.

II. ТИП ИЗВЕРЖЕНИИ

В конце 1937 г., когда еще не закончились извержения, мы пытались определить тип извержения (Бюлл. № 5). Первый период, с преобладанием эффузий, был определен как стромболианский тип; второй период, когда преобладали эксплозии, — как вулканский.¹ Это предварительное

¹ Во время предшествующих исторических извержений Ключевского вулкана (см. выше) проявлялся как тот, так и другой тип, и прежнее заключение Новограбленова (1932а, стр. 89) о том, что «извержения типа стромболи и пелейский тип почти не известны на Камчатке», не подтверждается, о чем мы упоминали уже в Бюлл. № 6 (Меняйлов и Набоко, 1939б).

определение вполне соответствовало и дальнейшему ходу извержения. Побочные кратеры 1937 и 1938 гг. имели уже свои особенности, обнаруживая как стромболианский, так и вулканский типы извержений.

Эксплозивные индексы $\left[\frac{\text{рыхлые продукты} \cdot 100}{\text{вся масса изверженного материала}} \right]$ некоторых кратеров будут следующие;

Всего извержения 1937—1938 гг.	$\frac{187.5 \cdot 100}{381.5} = 49\%$
Главного кратера 1937—1938 гг.	$\frac{185 \cdot 100}{199} = 93\%$
Маары Козей	$\frac{30 \cdot 100}{30.1} = 97\%$
Кратера Билукай	$\frac{2.5 \cdot 100}{182.5} = 1.4\%$
Для Камчатско-Курильской зоны	60%

Деятельность Ключевского вулкана в 1937—1938 гг. более всего напоминает современную деятельность Этны с ее побочными трещинными излияниями. В. И. Влодавец (1940) пришел к заключению, что в настоящее время тип Ключевского вулкана приближается к типу Этны.

Для сравнения главнейших вулканических явлений Перре (Perret, 1914) предложил графический метод изображения по следующей их группировке.

I. Взрывные

Летучие и воздушные

- a. 1) горящие газы — настоящее пламя; 2) прозрачный голубоватый пар.
- b. 1) непрозрачное облако пара; 2) легкие взрывные эффекты пара, кольца, вихревые движения.
- c. 1) сильные взрывные эффекты — сотрясение воздуха; 2) подземная детонация; 3) катастрофический взрыв.

II. Фрагментальные

Рыхлые вулканические продукты

- a. 1) лавовый фонтан; 2) «волосы Пэла»; 3) кружевные «Лиму»; 4) «слезы Пэла».
- b. 1) стекловатый песок; 2) лапилли и шлаки; 3) бомбы и фигурные выбросы.
- c. 1) Пемза; 2) Nules Ardantes.

III. Эффузивные

- a. Внутрикратерные лавовые потоки, лавовые озера.
- b. Кратерное свечение — псевдопламя.
- c. Конечный верхний поток: 1) пахзухзу; 2) тип «аа».
- d. Вытекание, боковые выходы.
- e. Вязкая экструзия. Выпуклость, купола и пр.

IV. Сейсмические

- a. Вулканические землетрясения: 1) предваряющие; 2) сопутствующие; 3) последующие.
- b. Сейсмы «Вгаду»: 1) переходящие; 2) постоянные.
- c. «Цунами» — вулканического происхождения.

V. Деградация (затухание)

- a. Разрушение, убывание, спадание: 1) окончное (у вершины); 2) боковое; 3) под поверхностью; 4) внутри кратера.
- b. Перемещения: 1) потоки горячего пепла и сухие лавины; 2) внутрикратерные скольжения; 3) грязевая лава.
- c. Сдвиги вулканического происхождения.

VI. Сольфатарные

- a. Фумаролы первичного типа (развивающиеся на вулканических каналах).
- b. Фумаролы вторичного типа (на изверженной лаве или кластических выбросах).
- c. Фумаролы с пламенем.

VII. Электрические явления

- a. Вулканическая молния: 1) линейного вида; 2) шаровая; 3) звездчатая.
- b. Детонация: 1) резкий треск; 2) тяжелый гром.

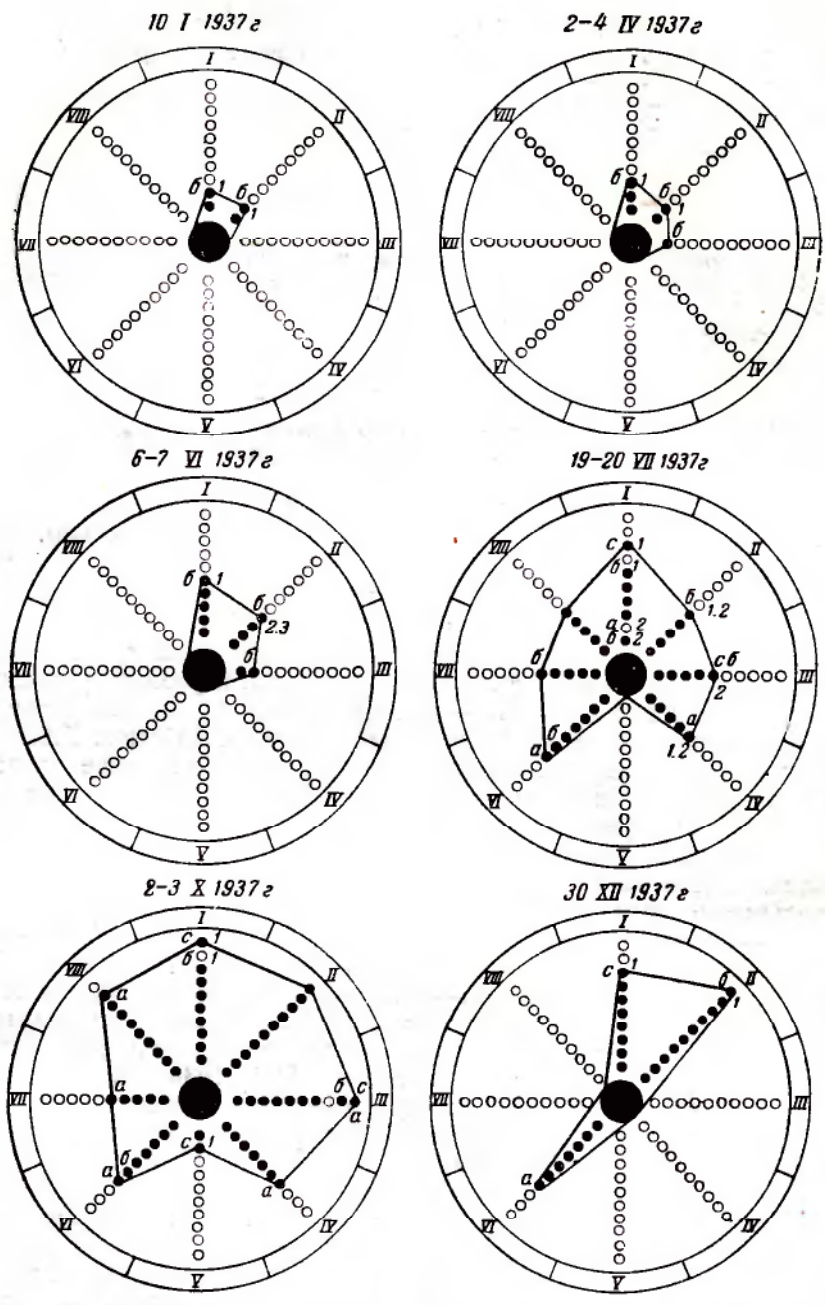
VIII. Фрагментальные

- a. Пемзовые струи. Копьевидные выбросы (частичские выбросы, конусные отложения).
- b. «Pipo» пепла. Пепельные ливни: большие угловатые глыбы и камни.
- c. 1) пизолиты; 2) грязевые ливни.

Еще Фридлиндер (Friedlaender, 1914) высказался о желательности применения этого метода, с одной стороны, для изучения продолжительного извержения и, с другой — для сравнения деятельности различных вулканов. Переложение на 12 круговых диаграмм действия Ключевского вулкана в наиболее характерные моменты дало наглядное представление о развитии вулканических явлений (фиг. 50). На этих диаграммах видно, как со временем увеличивается количество и интенсивность вулканических явлений, а после кульминации, наоборот, они уменьшаются. Здесь выступают также и особенности отдельных периодов деятельности: диаграмма 10.I 1937 г. характеризует период извержений; 2—4.IV — начальный период; 6—7.VI и 19—20.VII — период эффузий; 2—3.X — кульминационный; 30.XII 1937 г., 18—19.I и 6.II 1938 г. — период эксплозий; 21—22.IV — период редких заключительных эксплозий, 26.IV — период относительного покоя, диаграмма 12.V 1938 г. — период относительного покоя с пульсациями выбросов.

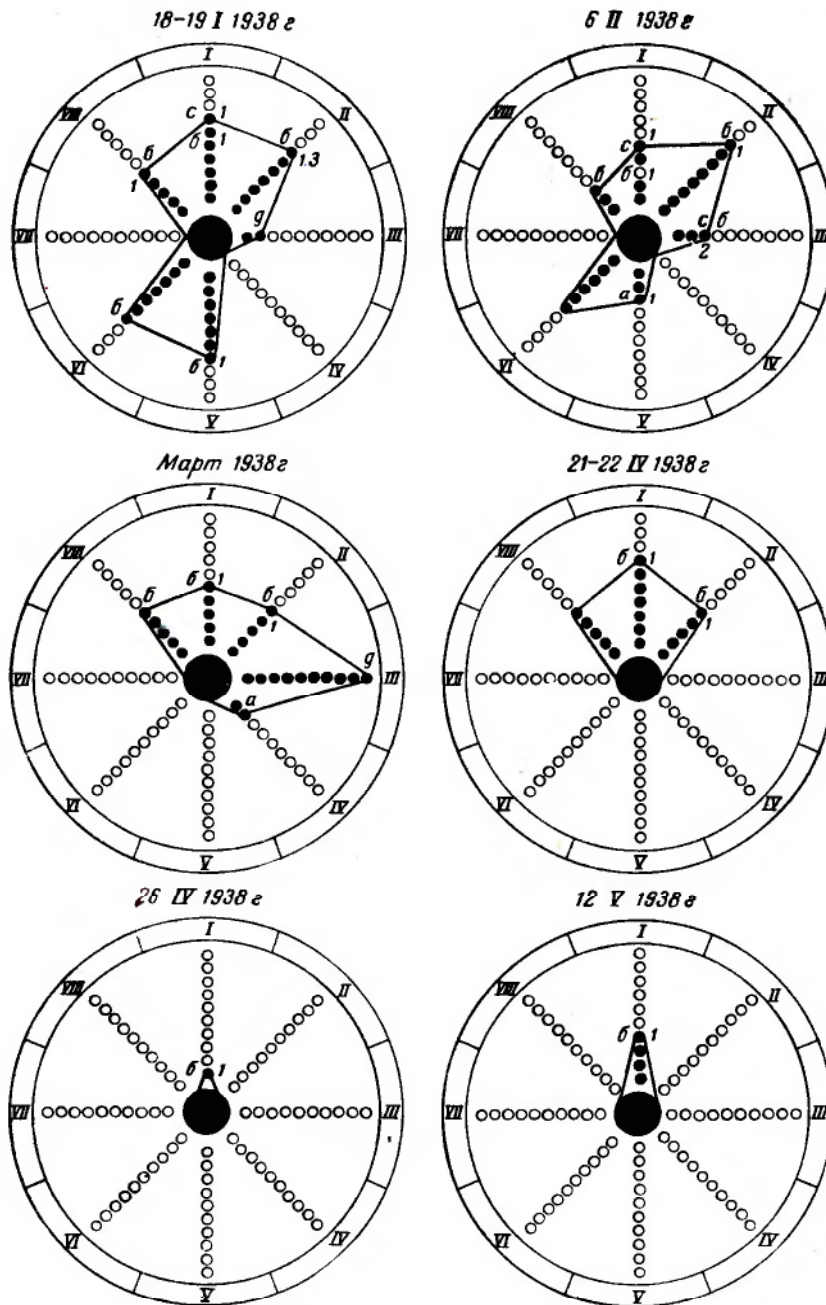
Извержения Ключевского вулкана 1937—1938 гг. сравнивались с теми извержениями вулканов, которые были приведены в указанной работе Перре (1914). Диаграммы периода эффузий имеют значительное сходство с диаграммами извержения Везувия в 1906 г. Отличие их заключается в значительном развитии электрических явлений на Везувии и совершенном их отсутствии в это время на Ключевском вулкане. Диаграммы периода эксплозий напоминают диаграммы извержения Стромболи в 1907 г. и Тенерифа в сентябре 1909 г., за исключением опять-таки электрических явлений.¹ Диаграмма периода побочных эффузий сходна с диаграммой извержений Этны 1910 г. Значительное различие мы видим между диаграммами наших извержений и извержений Килауэа в июне 1911 г. и Кракатау в августе 1883 г.

¹ Электрические явления на Ключевском вулкане происходили, может быть, чаще, чем это вытекает из данных наблюдений. Впрочем, сильные электрические явления, которые сопровождали извержения Авачинского вулкана в 1938 г., были замечены всеми жителями г. Петропавловска, несмотря на удаленность в 30 км, такую же, как и Ключевского вулкана от с. Ключи; между тем их здесь не замечали, за исключением некоторых упомянутых уже случаев.



Фиг. 50а. Круговые диаграммы (по Перре) извержений Ключевского вулкана в 1937—1938 гг.

Сопоставления с извержениями Везувия, Этны и вулканов Гавайских островов делаются наиболее часто потому, что эти вулканы лучше других исследованы и на изучении их складывались представления о механизме вулканических извержений. В связи с этим остановимся на различиях, обуславливающих особенности извержений перечисленных вулканов. Так, Везувий имеет более кислый состав магмы, образующей обычно пробку, что создает благоприятные условия для процессов



Фиг. 50б. Круговые диаграммы (по Перре) извержений Ключевского вулкана в 1937—1938 гг.

дифференциации и значительного газонакопления и придает взрывной характер первоначальному извержению. Этого нет у Ключевского вулкана.

Другую крайность представляет группа вулканов Гавайских островов, Питон де ла Фурнез (Ласгоix, 1936) и др. Эти вулканы хотя и имеют сходный состав магмы, но очаг у них расположен настолько близко

от земной поверхности, что в них почти полностью отсутствуют сдерживающие факторы (кровля). Вследствие этого извержения у них происходят почти исключительно под влиянием только эндогенных факторов. Ключевской вулкан отличается от гавайских тем, что хотя магма в нем и имеет сравнительно легкий доступ к поверхности, но очаг заключен в резервуар, который регулирует и сдерживает магматическую массу. Сейчас Ключевский вулкан достиг значительной высоты, подъем магмы затруднен, и потому магматический очаг находится в особом состоянии равновесия, чутко реагируя на изменения внешних условий. В этом отношении, мне кажется, он очень напоминает вулкан Стромболи. Так, у Ключевской сопки такой особенностью является зависимость характера деятельности от атмосферных факторов, наблюдаемая также у Стромболи, Изалько (Реклю, 1914) и у немногих других вулканов.

III. ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГА И ОБЩИЙ ХОД ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА

Температура. В верхней части канала в жерле вулкана температура определялась только по цвету освещения над кратером, следовательно по цвету каления. На определение цвета зарева могли влиять дальность и колебания в прозрачности атмосферы. Но как бы ни сказывались эти факторы на точности и результате наблюдения, все же удалось довольно резко выделить следующие моменты.

В начальный период извержений освещение от лавы было в большинстве случаев красного цвета с различными оттенками (например, 5 апреля цвет менялся от желтого в 20 ч. 50 м. до красного в 21 ч. 15 м. и яркокрасного в 22 ч. 33 м.). В средний, наибольший период времени лава была чаще оранжевого цвета; в особенности отличалось извержение 13 октября 1937 г., когда лава достигла почти белого каления. После кульминации лава отличалась в большинстве случаев красным цветом каления с темными оттенками; наиболее сильно это проявилось при последнем излиянии лавы 6 февраля 1938 г., когда она была темно-красной.

На основании цвета каления лавы можно для этих трех периодов соответственно наметить следующие пределы температур: 1) от 1000 до 1200° в начальный период, 2) свыше 1100—1200° (наивысшая 13 октября 1937 г.), 3) в конце извержения ниже 1000°.

Состав. Имеющиеся аналитические материалы позволяют сделать следующие выводы о состоянии магмы: 1) кислотность продуктов извержения в общем все время понижалась; 2) содержание воды кристаллизационной, гигроскопической и, пожалуй, отчасти свободной (выделенной в атмосферу) в общем до кульминации увеличивалось, а после нее уменьшалось; 3) содержание окисного железа увеличивалось за счет закисного.

Общее понижение кислотности лав и пеплов установлено анализами продуктов извержения (Набоко, наст. выпуск).

Гигроскопическая вода количественно возрастала до кульминации вместе с кристаллизационной, к концу же второго периода и в третий период количество ее понижалось. Вода в виде газообразной фазы, поступающей в атмосферу, выделялась в несколько повышенном количестве в период, предшествовавший извержениям, и в начальный период; в большом количестве она выделялась во второй период, а отчасти и в третий; однако в последнем случае в промежутки относительного покоя она опускалась до наиболее низкого значения. Наиболь-

шее количество воды выделялось в период кульминации и в первом периоде между 10 мая и 24 июня (малая кульминация до прорыва западных кратеров).

Таким образом, кульминация характеризуется большим количеством воды кристаллизационной, гигроскопической и свободной. В этот же период наивысших пределов достигла и температура магмы. Поэтому возникает вопрос, не могло ли повышение температуры отчасти происходить за счет химической реакции $2\text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$, протекающей с выделением большого количества тепла. Такая реакция возможна в случае поднятия воды из очага при температуре выше 1000° , когда она находится в диссоциированном состоянии (Вернадский, 1933). Но не следует упускать из виду того, что высокая температура в жерле могла также влиять на высоту подъема газообразных выделений, что так настойчиво подчеркивает Вольф (Wolff, 1938).

Увеличение содержания окисного железа сказывается в увеличивающемся количестве частиц стекла бурого цвета в пепле. Оно вполне объясняется, по видимому, возрастающей ролью воды и, в частности, воды кристаллизационной, содержащейся в стекле.

Вязкость. Непосредственных наблюдений над вязкостью лав у нас не много. О наименьшей вязкости можно судить по тем случаям, когда видно было течение лавы каскадами. Однако нужно при этом иметь в виду крутизну склонов конуса (от 30 до 40°), способствовавшую образованию каскадов.

О вязкости магмы в самом жерле можно судить по типу извержений и по составу и структуре вулканических продуктов, в частности — пеплов. В связи с увеличением содержания кремнекислоты и окисного железа в пеплах и, следовательно, в магме вязкость должна была увеличиваться. Благодаря этому должен был усиливаться, и на самом деле усиливался, взрывной характер извержений в связи с высокой температурной магмы. Вязкость ее в кульминационный период могла уменьшаться.

Микроструктура частиц в пеплах изменялась со временем следующим образом (Набоко, наст. выпуск). В начале извержений пепел был лавовый (резургентный). В период преобладания эффузий он был ювенильного (магматического) и отчасти лавового происхождения и выбрасывался то в пластическом, то в твердом состоянии. Во второй период, период преобладания эксплозий, пеплы были исключительно лавовые (резургентные), но оставались столь же пористыми, как и в первый период. В третий период пеплы были лавовые, плотные, совершенно лишенные пор. Это доказывает, что в третьем периоде магма в жерле из-за малого содержания газовой фазы должна была быть сильно вязкой.

Давление. О давлении пара можно сказать, что оно перед извержениями и в начале их постепенно повышалось. Оно повышалось еще в июне 1937 г., но затем временно — с 11 июля по 3 сентября 1937 г. — понизилось. Что являлось этому причиной? Западные кратеры прорвались значительно позднее, только через 15 дней. Возможно, что в этом сказалось влияние сильной активности восточного жерла с 2 по 20 июля. Затем давление резко возрастало в кульминацию, в особенности к 12 сентября, после чего стало медленно и незначительно падать в связи с извержениями больших масс водяного пара. Резкое понижение парового давления наступает после прорыва восточных кратеров и продолжается вплоть до 12 мая, а затем давление вновь медленно повышается.

Гидростатическое давление не изменялось заметно. Оно понижалось лишь слегка, так как количество выброшенного материала по сравнению со всей массой колонны было незначительно.

Внешнее давление менялось, притом, очевидно, значительно, с открытием трещин сперва на западном, а затем на восточном склонах.

Общий ход вулканических процессов в 1936—1938 гг. Благодаря малой вязкости базальтовой магмы, находившейся в большей части канала в жидком состоянии, все периоды извержения характеризуются постепенным повышением силы и энергии извержений, сменяющимися после кульминации постепенным же их понижением.

Вследствие возрастания вязкости магмы в жерле вулкана и понижения внутреннего давления, — причем более быстрого понижения парового давления, чем гидростатического, — магма устремилась в подготовленные тектоническими силами трещины и дала мощные побочные излияния.

Для выяснения общего хода извержений и роли отдельных его фаз или периодов сопоставим извержения Ключевского вулкана в 1936—1938 гг. с извержением Везувия в 1906 г., анализ которого дал Перре (Perret, 1924). Последний выделяет три фазы: с 4 по 7 апреля — фаза жидкой лавы; 8 апреля — газовая фаза; с 9 по 22 апреля — пепловая фаза. Особенное значение Перре придает второй эруптивной фазе высокого газового столба в форме цветной капусты. В этом мы вполне присоединяемся к Перре, хотя у нас имеются и значительные расхождения как в отношении характера течения процесса, так и его продолжительности. У нас газовая фаза в кульминацию тоже имеет исключительное значение, но при разделении извержений на периоды (по Перре — на фазы) мы ее не выделили в самостоятельный период, а рассматривали этот период деятельности как переходный, так как наравне с проявлением этой мощной газовой эрупции происходили сильные излияния лавы и выбросы пепла, охватывающие два смежных периода.

При толковании механизма извержения особого внимания заслуживает почти непрерывное открытое состояние вулканического канала Ключевского вулкана, в противоположность Везувия, для которого Перре одну из главных причин накопления в канале ствола мощной газовой фазы видит в образовании пробки верхнего конуса. Эта разница, притекающая, несомненно, от различной вязкости магмы Ключевского и Везувия, обусловила длительный период извержений у первого и короткий у второго и, наоборот, короткий цикл у первого и более длительный у второго.

В составе газов фумарол побочных кратеров 1932 г. в процессе извержений 1937—1938 гг. произошли изменения, находившиеся в определенной связи с общим ходом извержений.

Прежде чем активность вулкана проявилась на поверхности, в фумаролах № 6, 17 и 18 увеличилось количество H_2O и отчасти HCl . Затем повысилось содержание H_2O и CO , особенно заметно в первую кульминацию. Содержание же H_2O и HCl увеличилось за то же время незначительно. Во вторую (большую) кульминацию произошло новое увеличение количества газов, преимущественно H_2O и отчасти HCl .

Перед прорывом восточных кратеров отмечено повышение температуры фумарол № 5 и 6 и незначительное увеличение в некоторых фумаролах H_2O , HCl и CO (H_2 в это время не определялось).

Поведение газов в Ключевском вулкане несколько напоминает поведение их в лавовом озере Килауэа (Jaggag, 1940). Сходство видно в определенной их близости к магме; в отношении же изменения их

во времени у нас, как мы видели, замечены изменения, а на Килауэа — нет.

В порядке возрастания близости к магме газы располагаются следующим образом: H_2O и HCl , H_2 и CO , CO_2 и SO_2 . Если Джаггар (1940) нашел эту близость при учете качества проб, то у нас она видна как во времени, так и в пространстве. Так, увеличение содержания H_2O и HCl проявилось раньше всех, и поэтому они являются как бы предвестниками извержения. Увеличение H_2 и CO было синхронично с высокой активностью вулкана. CO_2 констатировалось в газах Главного кратера (Иванов, 1938), а CO_2 и O_2 присутствовали в фумаролах Туйлы (Набоко, 1939) и Билюкая, появляясь, повидимому, только в наиболее активные периоды вулканической деятельности.

Если весь ход вулканической деятельности и механизма извержений Ключевского вулкана в 1937—1938 гг. (без побочных кратеров)¹ в целом сравнить с типичными извержениями других вулканов, то мы найдем сходство с механизмом извержений вулканов центрального типа, происходящих при открытой трубе (Rittmann, 1936, стр. 135—139). Эта деятельность протекает таким образом. Во время инкубационного периода происходит спокойное выделение паров. Затем следуют усиливающиеся ритмические выбросы газообразных и рыхлых продуктов. Далее наступает эффузивная деятельность вулкана, сменяющаяся взрывчатой. После этого начинается парообразующая деятельность нового инкубационного периода — сперва понижающаяся, затем повышающаяся. Аналогичную картину деятельности наблюдали и мы в течение 1936—1938 гг. по ряду явлений почти всего вулканического цикла: до начала извержений с 1936 г. до 2 апреля 1937 г. происходили все усиливающиеся ритмические выбросы, с 2 апреля до 12 сентября — эффузивная деятельность, с 12 сентября до 6 февраля и даже 22 апреля 1938 г. — взрывчатая деятельность, а после этого начался инкубационный период — до 12 мая, сперва с понижающимся, а после с повышающимся паровыделением.

ВЫВОДЫ

Активные моменты в деятельности Ключевского вулкана с 1936 по 1938 г. перечислены в табл. 1 (стр. 9).

Тектонические силы, проявившиеся в ноябре 1936 г., непосредственно обусловили проникновение и подъем магматических масс к земной поверхности. После этого некоторое время следовало накопление энергии в перемещенной магме, и в феврале 1937 г. началось постепенное усиление активности вулкана, выразившейся в пульсирующих паровых и газообразных выбросах и пепловых взрывах. В период преобладания эффузий интенсивность вулканической энергии возрастает, а затем, после кульминации, энергия вулканического очага понижается. С прорывом побочных кратеров на восточном склоне деятельность Главного кратера резко ослабевает, и только в период общего повышения активности вулканизма на Камчатке (6 марта и 21 апреля 1938 г.) наблюдается некоторое его пробуждение. Побочные же вулканы продолжали действовать еще долгое время (более года), не нарушая уже общего состояния относительного покоя Главного кратера. Деятельность побочных кратеров в 1938 г. сложна и представляет в начале периода эффузивный и взрывчатый типы, в зависимости от гипсометрического уровня расположения жерл. Впоследствии основная деятельность

¹ Механизм побочных извержений разрабатывается С. И. Набоко.

сосредоточивается на одном нижнем кратере Билуокае, из которого при непрекращающейся эксплозивной деятельности до 13 сентября 1938 г. излилось три порции лавы (подробности см. Бюлл. № 6, 7, 8).

Изучая данные этих извержений, удалось подметить зависимость их от атмосферного давления, а именно: извержения приурочены были обычно к перегибу кривых атмосферного давления: эффузии — к максимумам, эксплозии — к минимумам. Определенное влияние имела и облачность; после схода облака с кратера всегда происходили пульсирующие выбросы. Эта зависимость объясняется тем, что при высоконапряженном состоянии магмы некоторое влияние на характер извержения имело атмосферное давление. Рассмотрение синоптических карт показывает, что региональное распределение низкого давления над Камчаткой благоприятствует эксплозивной деятельности; для эффузивной деятельности установить связь с региональным распределением атмосферного давления не удалось.

На основании изучения продуктов извержения Ключевского вулкана с его побочными кратерами мы устанавливаем, что, с одной стороны, в процессе извержения происходит незначительная дифференциация магмы в канале ствола, а с другой — что уже существует постоянная отдифференцированность магмы в вулканическом очаге: сверху находятся более кислые, а ниже — более основные продукты дифференциации с соответствующим распределением и последующим выделением летучих компонентов.

Следовательно, такое состояние очага обусловлено процессом гравитационной кристаллизации с участием газовой фазы, происходящей как в очаге в целом, так и в отдельных его частях в канале ствола и в боковых частях очага.

ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В. И. История минералов земной коры, т. II, ч. 1, вып. 1, 1933.
- Влодавец В. И. Ключевская группа вулканов. Тр. Камч. вулк. ст., 1940, вып. 1.
- Гамов К. И. Влияние микросейсмических колебаний и атмосферного давления на выделение гремучего газа. Изв. Пост. центр. сейсм. ком., 1910, т. III, вып. 3.
- Дитмар К. Посадки и пребывание на Камчатке в 1853—1855 гг. Пб., 1901.
- Заварицкий А. Н. О вулканах Камчатки. Камч. сб., 1, посв. В. Л. Комарову, сопки на Камчатке. Зап. Русск. мин. об-ва, 1931, вып. 2.
- Заварицкий А. Н. Линейное расположение вулканов Камчатки. Тезисы доклада на XVII Межд. геол. конгр. М., 1937.
- Заварицкий А. Н. О вулканах Камчатки. Камч. сб. 1, посв. В. Л. Комарову, изд. АН СССР, 1940.
- Иванов И. З. Исследование продуктов побочных вулканов Ключевской сопки и Шивелуча. Бюлл. вулк. ст. на Камчатке, 1938, № 4.
- Келль Н. Карта вулканов Камчатки. Тихоок. ком. и Русск. геогр. об-во, 1928.
- Кюджо Сюэжиро. Инженерная сейсмология. Изд. «Эк. жизнь», 1935.
- Крашенинников С. Описание земли Камчатки, тт. I и II, 1786.
- Крис Б. Э. Скорость звука в воздухе. Природа, 1940, № 1.
- Кудряшев Е. В. Геологический очерк грязевого вулкана Шуго (Кубань). 1939.
- Кулаков В. С. В кратере действующего вулкана. СОПС АН СССР, 1936а.
- Кулаков В. С. О деятельности камчатских вулканов. Природа, 1936б, № 8.
- Кулаков В. С., Дитерикс Ф. М. и Святловский А. Е. Паразитические кратеры Ключевского вулкана, возникшие в 1932 г. Тр. Камч. вулк. ст., вып. 2 (в печати).
- Меняйлов А. А. Ноябрьские землетрясения 1936 г. на Камчатке. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1938а, № 3.
- Меняйлов А. А. Извержения Ключевского вулкана и деятельность некоторых камчатских вулканов в 1937 г. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1938б, № 4.
- Меняйлов А. А. Извержение вулкана Авача в 1938 г. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1938 в, № 6.
- Меняйлов А. А. Посещения вершин вулкана Шивелуч и его деятельность в 1937—1938 гг. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939 а, № 7.
- Меняйлов А. А. Макросейсмические наблюдения в Ключевском районе в 1937—1938 гг. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939 б, № 8.

- Меняйлов А. А., Иванов И. З., Набоко С. И., Турбабо К. К. Наблюдения за деятельностью вулканов с 1 октября 1936 г. по 1 мая 1937 г. Бюлл. ст. на Камч., 1938, № 3.
- Меняйлов А. А. и Набоко С. И. Деятельность некоторых камчатских вулканов в конце 1937 г. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939 а, № 5.
- Меняйлов и Набоко С. И. Деятельность камчатских вулканов за первый квартал 1938 г. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939 б, № 6.
- Меняйлов А. А. и Набоко С. И. Деятельность Ключевского вулкана (с 1 апреля по 1 октября 1938 г.). Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939 в, № 7.
- Меняйлов А. А. и Набоко С. И. Потухшие вулканы Верхне-Еловского района. Тр. Камч. Вулк. ст., вып. 2 (в печати).
- Меняйлов А. А. и Соловьев. Деятельность Карымского и Жупановского вулканов (с 18 по 30 июня 1938 г.). Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939, № 6.
- Меняйлов А. А. и Сосунов Н. Ф. Деятельность Авачинского и Мутновского вулканов (апрель—сентябрь 1938 г.). Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939, № 7.
- Меняйлов А. А. и Сосунов Н. Ф. Деятельность Авачинского и Мутновского вулканов с 1 октября по 31 декабря 1938 г. Бюлл. Вулк. на ст. Камч., 1940, № 8.
- Мушкетов И. В. Физическая геология. ОНТИ, 1935.
- Набоко С. И. Газы и температуры фумарол Туйды в 1938 г. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1939, № 7.
- Набоко С. И. Деятельность Билокая. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1940, № 8.
- Набоко С. И. О лавах извержения 1938 г. Сборник, посвященный академику Д. С. Белянкину. Изд. АН СССР, 1946.
- Новограбленов П. Т. Каталог вулканов Камчатки. Изв. Гос. геогр. об-ва, т. XIV, 1932а, вып. 1.
- Новограбленов П. Т. Путешествие к вулкану Анаун в Среднем Камчатском хребте в 1929 г. Тр. Тихоок. ком., 1932б, III.
- Оболенский В. Н. Метеорология, ч. II, 1939.
- Попков В. Ф. Деятельность Ключевского вулкана. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., 1941, № 11.
- Реклю Э. Земля, т. V, 1914 (пер. Н. К. Лебедева).
- Троцкий А. Н. О поведении кратера Ключевского вулкана в 1935 г. Изв. Гос. геогр. об-ва, 1937, № 6.
- Чибисов С. В. О времени пробега звукового луча в атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1940, № 1.
- Erstmann. Reise um die Erde, Bd. III, Berlin, 1848.
- Jaggard T. A. Magmatic gases. Amer. Journ. of Sci., v. 238, 1940, № 5.
- Lacroix A. Les volcans actifs des île de la Réunion et ses produits. Paris, 1936.
- Perret F. A. Zeitschr. für Vulkanologie. 1914.
- Perret F. A. The Vesuvius eruption of 1906. Publ. Carnegie Inst., 1924, № 339.
- Rittmann A. Vulkane und ihre Tätigkeit. Stuttgart, 1936.
- Sapper. K. Vulkankunde. Stuttgart, 1922.
- Wolff F. Die Zustandsgrossen der Santorinausbrüche 1925—1926. Ein Beitrag zur Theorie andesitischer Vulkanausbrüche. Journ. of Geol., v. 46, 1938.